

早稲田大学審査学位論文  
博士 (スポーツ科学)

クロスカントリースキー競技における  
滑走動作に関するバイオメカニクス的研究

Biomechanics of cross-country skiing

2012年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

藤田 善也

FUJITA, Zenya

研究指導教員： 土屋 純 教授

# 目 次

第 1 章 緒言 .....	1
第 1 節 クロスカントリースキー競技の概要と歴史 .....	1
第 2 節 クロスカントリースキー競技の自然科学的研究概観 .....	4
第 3 節 本研究の目的 .....	17
第 2 章 スタート局面のバイオメカニクス .....	18
第 1 節 クロスカントリースキー競技におけるスタート局面 .....	18
第 2 節 スタート局面の動作の特徴 .....	19
第 3 章 主要滑走局面のバイオメカニクス .....	27
第 1 節 主要滑走局面での V2 スケーティング走法の特徴 .....	27
第 2 節 V2 スケーティング走法の上肢と下肢の力の貢献 .....	31
第 3 節 V2 スケーティング走法の滑走速度の増加とフライト局面の発生との関係 .....	40
第 4 節 女子選手の V2 スケーティング走法の滑走速度増加に伴う力の変化 .....	47
第 5 節 フライト局面を発生させた V2 スケーティング走法の効果の検証 .....	54
第 4 章 滑走中の疲労に関するバイオメカニクス .....	60
第 1 節 クロスカントリースキー競技における疲労 .....	60
第 2 節 疲労の影響によるバイオメカニクス的变化 .....	62
第 5 章 総括論議 .....	71
第 6 章 結論 .....	76
文献 .....	78
謝辞 .....	85
資料 .....	86



## 第1章 緒言

### 第1節 クロスカントリースキー競技の概要と歴史

#### 1. クロスカントリースキー競技の概要

クロスカントリースキー競技は、圧雪された走路の決められた距離を両手に装着したポールと両足に装着したスキー板を用いた滑走運動を行い、所要時間を競うものである。競技では、走法や距離、競技形式の違いによって様々な種目が実施されている。走法は、クラシカル種目とフリー種目に分けられている。クラシカル種目は、トラックと呼ばれる2本の雪の溝に合わせて、スキーを平行にして滑走させる走法で行う。クラシカル種目で用いられる走法には、手と足を交互に動かして滑走するダイアゴナル走法や、両方のポールのプッシュ動作のみで滑走するダブルポーリング走法、滑走を伴わない開脚登行などがある。一方、フリー種目は、どのような走法を用いてもよい種目であり、一般的には両スキーをV字にして滑走するスケーティング走法が用いられる。スケーティング走法には、平地の滑走に優れたV2オルタネイトスケーティング走法や、滑走速度の高いV2スケーティング走法、登り坂で使用されるV1スケーティング走法などがある。距離は、0.8-1.8 kmの距離で行われるスプリントが最も短く、5, 7.5, 10, 15, 30, 50 kmの長さに分けられているが、スキー愛好家向けに開催されている「ポピュラークロスカントリースキー競技会」においてはこの限りではない。競技形式は、15-30秒の決められた間隔で選手がスタートするインターバル・スタート形式や、選手が一斉にスタートするマススタート形式、競技の前半をクラシカル種目、後半をフリー種目で行うパシュート形式、3-4名の選手を1チームとして行うリレー形式、インターバル・スタート形式で予選を行い、上位30名が決勝トーナメントにて6名ずつのマススタート形式によって勝敗を決するスプリント形式などがある。

クロスカントリースキー競技のコースは、競技者の技術的、戦術的、および体力的な能力をテストできるように設定されている。原則として、コースの1/3が標高差10 m以上の登り、コースの1/3が短い上り下りを含むあらゆる地形を利用した起伏、残りの1/3が複雑な滑降技術を要する変化に富んだ下りの3つの要素によって設定されている。選手は、車のギアチェンジのように起伏に応じて走法を切り替えることで、運動効率を向上させて滑走速度を高めている。

クロスカントリースキー競技は、コース設備やスキー用具、ワックスの性能が向上したこ

とによって競技の高速化が進んでいる。さらに競技種目の細分化やコースレイアウトを観客やテレビ向けにすることによって、みるスポーツとしても注目を集めている。近年では、ヨーロッパ諸国が室内クロスカンリースキー場を開設したり、非積雪期のトレーニングとして行われていたローラースキーを用いた競技が開催されたりするなど、競技を取り巻く環境が多種多様な広がりを見せている。

## 2. クロスカンリースキー競技の歴史

クロスカンリースキーが、雪上を移動する手段として誕生したのは紀元前にさかのぼる。ロシアでは紀元前 6300-5000 年ころのものと推定される世界最古のスキーが発見されている。また、ノルウェー北部の洞窟では紀元前 2500 年ころとされるスキーをする人の壁画が発見されている。西暦 1200 年ころには、スキーが戦争の用具として利用されていたことが記されている。第 2 次世界大戦中にはフィンランド軍のスキー歩兵隊が圧倒的な軍事力を誇るソ連軍を撃破しており、北欧諸国にとってスキーは特別な道具といえる。

クロスカンリースキー競技が誕生したのは 1860 年ころであり、ノルウェー王室が競技会を開催し、これをきっかけにヨーロッパ全土にまで発展を遂げた。1916 年にクロスカンリースキー競技の滑走技術がノルウェー式スキー術として日本に伝播され、その後、北海道を中心に発展し、1923 年には、第 1 回全日本スキー選手権大会が北海道小樽市で開催された。翌 1924 年に、国際スキー連盟 (FIS) が創立されると、第 1 回冬季オリンピック大会がフランスのシャモニーで開催され、クロスカンリースキー競技を含むノルディック種目が正式種目として実施された。1972 年に札幌オリンピックが開催され、男子 15 km, 30 km, 50 km, 女子 5 km, 10 km, 男女リレーが実施された。1981/82 シーズンから FIS によって正式にワールドカップ (W 杯) が開催された。W 杯は、シーズン中に行われる数十試合の結果を得点化し、総合得点が最も高い選手にワールドカップを授与する世界最高位の競技会であり、総合優勝の選手はオリンピックの金メダリストより高く評価されている。

1980 年代には、スキー板を V 字に開いて滑走することでスキーを平行にして滑走する従来の走法より高い速度が得られるスケーティング走法が考案されたことにより、クロスカンリースキー競技に転機が訪れることとなる。1985 年の世界スキー選手権大会 (世界選手権) では、各国が一斉にスケーティング走法を実施し、従来の走法はクラシカル走法と呼ばれるようになった。以後、従来の走法で行う競技をクラシカル種目、スケーティング走法で行う競技をフリー種目として競技会ごとに分けて実施されるようになった。

1996/97 シーズンには FIS の公式種目としてスプリント種目が開設され、W 杯でもスプリント種目と中・長距離種目との得点を分けて表彰するようになった。1998 年には長野オリンピックが開催され、男子リレー種目で日本チームが 7 位に入賞し、日本クロスカントリースキー史上初の快挙となった。2002 年ソルトレークシティオリンピックでは、男子 50 km 種目で今井博幸が史上最高の 6 位入賞を果たした。2008 年には、W 杯ストックホルム大会女子スプリント種目で夏見円が五輪・世界選手権・W 杯を通じて 3 位となり、日本選手として初めて表彰台に上がると、翌 2009 年の W 杯トロンハイム大会・女子 30 km 種目で石田正子が 3 位、翌 2010 年バンクーバーオリンピック女子 30km 種目で日本選手過去最高順位の 5 位となった。2011 年には世界選手権オスロ大会にて男子リレー種目で日本チームが 6 位に入賞し、スプリント、中・長距離のすべての種目で日本選手が活躍するようになってきた。

一方でスキー愛好家を対象に、心身の健康増進を図る目的をもつポピュラークロスカントリースキー競技会が世界各地で開催されている。1978 年には世界各国のポピュラークロスカントリースキー大会の運営を統括するワールドロペット (World Loppet) という国際組織が創立された。「Loppet」は元来スウェーデン語で「ゆっくり走る」の意であり、クロスカントリー従来の魅力を伝える大会として、世界各国から 12,000 人のスキーヤーが参加しており、2011 年現在では 15 か国が加盟し、世界各地で開かれる大会に参加している。

## 第2節 クロスカントリースキー競技の自然科学的研究概観

### 1. クロスカントリースキー競技における運動生理学的研究概観

#### 1) 生理学的特徴

クロスカントリースキー競技は、ポールとスキーを利用して四肢を駆使し、競技中の運動時間が3分程度の種目から数時間に及ぶことから、全身持久性能力が競技力に大きく影響するスポーツ種目であるといえる。Mognoni et al. (2001) は、選手に心拍計 (Polar HR recorder, Finland) を装着させて競技中の心拍数を測定し、競技中の平均心拍数がラボテストで計測した最高心拍数の90%を超えていたこと、競技後の血中乳酸濃度が11.4-14.0 mmol/Lであることを示した。これらの結果は、クロスカントリースキー選手が、最大酸素摂取量 (maximal oxygen uptake) に近い運動強度で競技を行っていることを示している。全身持久性能力の指標である最大酸素摂取量や無酸素性作業閾値は、クロスカントリースキー競技の競技パフォーマンスを決定する因子として、広く認められている (Conley et al., 1980; Daniels et al., 1978; Rusko et al., 1978; Ingjer et al., 1991)。竹田ら (1996; 1997) は、トレッドミルを用いた漸増負荷試験によって選手の全身持久性能力を測定し、春から秋にかけて選手の体力がおよそ10%増加すること、スキーシーズン終了後には最大酸素摂取量が低下することを示している。Bilodeau et al. (1995) は、上肢のみの動作中の最大酸素摂取量を測定した結果、スキーシーズン中の最大酸素摂取量の低下が少なかった選手が、シーズン後半まで高い競技パフォーマンスを有していたことを報告している。このように選手の最大酸素摂取量を測定してパフォーマンスを評価する試みは、ジュニア期の選手から代表選手に至るまで幅広く行なわれている。竹田ら (2003) は、漸増負荷試験で得られた血中乳酸濃度と心拍数をもとに、全身持久性トレ

ーニングのトレーニング強度を算出し、血中乳酸濃度2.0 mmol/Lまでの強度のトレーニングをBaseトレーニング、2.0-4.0 mmol/Lまでの強度のトレーニングをSpeedトレーニング、4.0 mmol/L以上のトレーニングをMaxトレーニングとして、選手の課題に応じたトレーニング強度での効率的なトレーニングを推奨している (図 1.2.1)。このよ

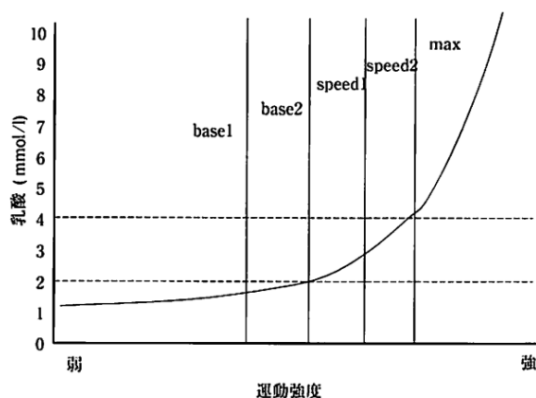


図 1.2.1. 運動強度の区分け (竹田ら, 2004)

うに、クロスカントリースキー競技における運動生理学的研究は、競技現場で積極的に運用される程に進んでいる。これらの研究成果が、選手個々のトレーニング課題の提示や、体力と競技成績とを縦断的に評価してきたことは、競技力向上に十分寄与しているといえよう。

## 2) 形態的特徴

Bergh (1987) および Bergh et al. (1992) は、クラシカル種目におけるクロスカントリースキー選手の身体質量とコースレイアウトごとの所要時間との関係を明らかにした。その結果、身体質量と全体の所要時間、下り坂および平地の所要時間との間に負の相関関係があり、身体質量と急な上り坂の所要時間との間に正の相関関係があることを示した。また、Larsson et al. (2008) は、Global positioning system システムを用いて、5.6 km のスケーティング種目のタイムトライアルにおける上肢および下肢の質量とコースレイアウトごとの所要時間との関係を明らかにした。その結果、身体質量、除脂肪質量および上肢の除脂肪質量と全体の所要時間との間に負の相関関係があること、上肢の除脂肪質量と上り坂の所要時間との間に正の相関関係があることを示した。これらの結果は、身体質量が大きい選手は、走法に関わらず全体の競技パフォーマンスが高いこと、一方でクラシカル種目では身体質量が小さい選手が、フリー種目では上肢の除脂肪質量が小さい選手が、急な上り坂で有利であることを示唆するものである。つまり、平地では滑走速度の獲得に上肢が多く貢献し、上り坂では下肢が大きく貢献しているといえる。Stöggl et al. (2010) は、ダイアゴナル走法およびダブルポーリング走法の最高速度とポール長さおよび身体部分身体質量との関係を明らかにした。その結果、各走法の最高速度とポール長さとの間に正の相関関係がみられたことを示した。また、ダブルポーリング走法中の最高速度と体幹の除脂肪質量、Body mass index、全体の除脂肪質量および身体質量との間に正の相関関係がみられたことを示した。ダイアゴナル走法では、最高速度と全体の除脂肪質量および除脂肪質量に対する体幹、上肢および下肢の除脂肪質量の割合との間に正の相関関係がみられたことを示した。これらのことは、最高速度を高めるには、走法に関わらず長いポールを扱うこと、ダブルポーリング走法では体幹部の筋量を増大させること、ダイアゴナル走法では体全体の筋量を増大させることが重要であることを示唆するものである。

このように、クロスカントリースキー選手の形態的特徴は、身体質量 (除脂肪質量) が大きい選手が有利とされている。また身長が高い選手についても、身長が高い分、除脂肪

質量を多くできることや長いポールを使用できることなど有利な点が多くあると考えられる。Stöggl et al. (2010) の研究における国際競技レベルの一流男子選手の形態は、身長が  $180.0 \pm 4.7$  cm, 身体質量が  $76.1 \pm 5.2$  kg であった。一方、全日本スキー連盟が認定した 2011 年度の強化指定男子選手の形態は、身長が  $173.3 \pm 6.1$  cm, 身体質量が  $71.9 \pm 8.0$  kg であり、国際競技レベルの選手と比較すると小柄であるといえる。形態的に劣る日本人選手が国際競技会で活躍するためには、小柄な選手に有利となる上り斜面でのパフォーマンスを高めることや、体脂肪質量の増加、身体質量あたりの筋量を増大させることが重要であろう。

## 2. クロスカントリースキー競技におけるバイオメカニクス的研究概観

クロスカントリースキー競技を対象とした研究は、運動生理学的な観点のものが高い水準で進められているのに対し、バイオメカニクス的な観点、すなわちキネマティクスのあるいはキネティクスの指標を用いた滑走技術の評価に関する研究は十分に行われているとは言い難い。これは、クロスカントリースキー競技が、雪上というバイオメカニクスの研究には不向きな環境で行われることがひとつの理由と考えられる。クロスカントリースキー競技で使用されるコースは、自然な地形を利用して設定されることが多く、同じレイアウトを有したコースが存在しない。また、同じコースであっても天候や雪質によって同様の条件下で競技を実施することは不可能であり、陸上競技や水泳競技のような公式競技記録がないことも、競技パフォーマンスを定量化しにくい要因になっている。しかしながら、所要時間を競うクロスカントリースキー競技にとって、高い滑走速度を獲得する、もしくは維持するための合理的な滑走技術の遂行は、競技パフォーマンスを左右する要因になる。そのため、滑走中の動作を解析したり、滑走中の力を測定した研究がいくつか進められてきている。

### 1) クロスカントリースキー競技の走法の種類

クロスカントリースキー競技では、クラシカル種目とフリー種目の2種類の競技が行われている。クラシカル種目はスキーを平行にした状態で滑走するクラシカル走法で行うの

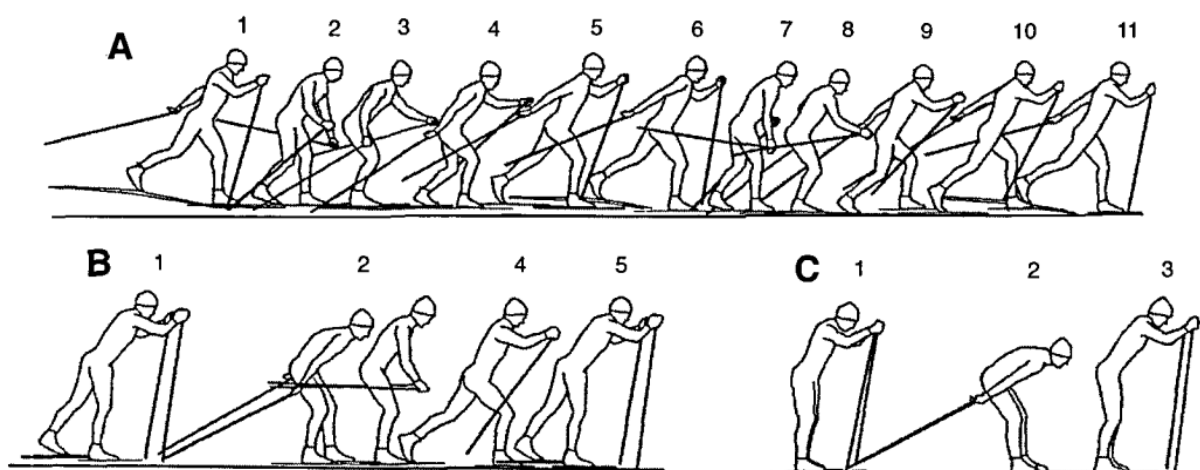


図 1.2.2 クラシカル種目で用いられる3種類の滑走技術。

A) ダイアゴナル走法, B) ワンキックダブルポーリング走法, C) ダブルポーリング走法  
(Nilsson et al. 2004 より一部改変)

に対し、フリー種目はスキーをV字に開いて滑走することで、クラシカル走法より高い速度を獲得できるスケーティング走法で行うのが一般的である。クラシカル走法には主に3種類の滑走技術が用いられており、雪面に接地したポールを腕で押す動作をポールによる「プッシュ動作」といい、スキー板を介し、脚によって雪面を後方に蹴る動作をスキー板による「キック動作」をいう。プッシュ動作は、走法によって片方のポールで行われる場合と両方のポールで行われる場合がある。ダイアゴナル走法 (図 1.2.2,A) は、片方のポールのプッシュ動作とプッシュ動作をするポールの反対側のキック動作を用いた滑走技術であり、急な上り坂で多く使用される走法である (Bilodeau et al.,1996, 小林, 1980, 鈴木, 2008) 。キックダブルポーリング走法 (図 1.2.2,B) は、両方のポールのプッシュ動作の間にキック動作によって推進力を加える滑走技術であり、平地もしくは緩やかな上り坂で用いられている (Bilodeau et al., 1996, Rusko, 2003) 。ダブルポーリング走法 (図 1.2.2,C) は、左右対称でかつ同時にポールのプッシュ動作を行うことで推進力を得る滑走技術であり、

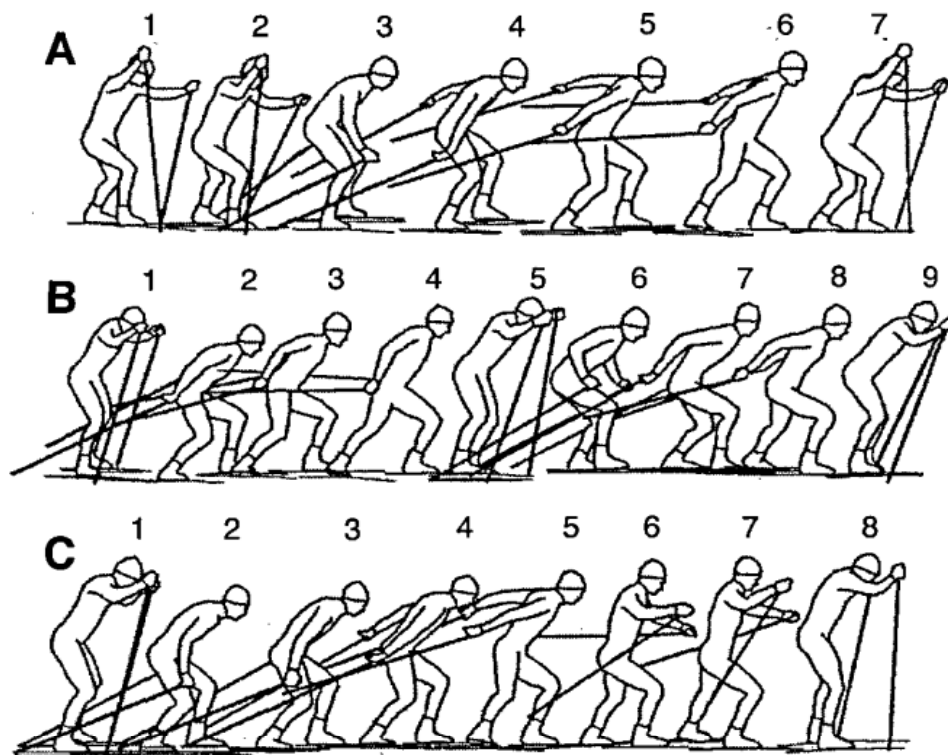


図 1.2.3 フリー種目で用いられる3種類の滑走技術。A) V1 スケーティング走法, B) V2 スケーティング走法, C) V2 オルタネイトスケーティング走法 (Nillson et al. 2004 より一部改変)



平地の滑走やラストスパート、スプリント競技などで多く用いられている (Bilodeau et al., 1996, Mittelstadt et al., 1995, 鈴木ら 2008) 。スケーティング走法には、主に 3 種類の滑走技術が用いられており、クラシカル走法と同様のポールによるプッシュ動作に加えて、片方のスキー板の内側のエッジを立てながら滑走させつつ、脚の伸展によって斜め後方へと雪面を押す、スキー板による「プッシュオフ動作」が行われている。V1 スケーティング走法 (図 1.2.3,A) は、左右どちらかのスキー板が雪面に接地するタイミングに合わせて、両方のポールでプッシュ動作を開始し、反対側のスキー板が接地するタイミングに合わせてプッシュ動作を終了する走法である。V2 スケーティング走法 (図 1.2.3,B) は、左右両方のプッシュオフ動作に合わせて、両方のポールでプッシュ動作を行う走法である。V2 オルタネイトスケーティング走法 (図 1.2.3,C) は、左右どちらかのスキー板のプッシュオフ動作に合わせて、両方のポールでプッシュ動作を行う走法である。ポールを接地するタイミングが V1 スケーティング走法と異なっており、V2 オルタネイトスケーティングの場合、スキー板を雪面である程度滑走させたのちに両方のポールのプッシュ動作を行う。

## 2) キネマティクスの特徴

クロスカントリースキー競技では、高い滑走速度を維持もしくは増加させるため、地形に応じていくつかの走法を使い分ける。そのため、滑走速度の増加や斜面の変化に伴う各走法のキネマティクスの特徴を把握することは、滑走技術を高める上で重要である。滑走速度の変化に関して Millet et al. (1998b) は、ダブルポーリング走法、V1 スケーティング走法、V2 スケーティング走法および V2 オルタネイトスケーティング走法では滑走速度の増加に伴い、サイクル頻度 (以下、ピッチとする) が有意に増加すること、およびサイクル長 (以下、ストライドとする) が維持もしくは減少傾向にあることを示した。同様に Nilsson et al. (2004) は、Millet et al.が対象とした走法に加え、ダイアゴナル走法およびキックダブルポーリング走法についても同様にピッチとストライドの変化を測定し、ダイアゴナル走法およびキックダブルポーリング走法においても、滑走速度の増加に伴い、ピッチが有意に増加すること、およびダイアゴナル走法ではストライドは変化しないが、キックダブルポーリング走法ではストライドが増加することを示した。さらに Nilsson et al.は、滑走速度の増加に伴い、ポールのプッシュ動作中の所要時間 (以下、プッシュ時間とする) 、スキー板のキック動作中の所要時間 (以下、キック時間とする) およびプッシュオフ動作中の所要時間 (以下、プッシュオフ時間とする) 、スキー接地後、キック動作もしくはプッシ

プッシュオフ動作が行われるまでの所要時間 (以下, グライド時間) およびボールの離地から次の接地までの所要時間 (以下, スイング時間とする) を計測し, いずれの走法においても滑走速度の増加に伴い, 各局面の時間が減少することを示している. これらの結果は, 高い速度を獲得するためには, 各局面の時間を短くすることによるピッチの増加, キックダブルポーリング走法ではストライドの増加とおよび他の走法ではストライドの維持が重要であることを示唆するものである. 一方で, Nilsson et al. (2004) は, 1 サイクル内における各局面の時間の割合を示しており, いずれの走法においても割合が大きく変化しないことを示している. つまり, 滑走速度の増加という観点から各走法のキネマティクス的变化をみると, ピッチは増加するが, 局面構造には変化がないといえる. このことは, 滑走速度を高めるためには, 1 サイクル中の各局面の構造を変えずに局面に要する時間の短縮が重要であることを示唆するものである.

斜面の変化に関して Bilodeau et al. (1992) は, 最高速度の 80%の速度で異なる斜面 ( $0^{\circ}$  および  $5^{\circ}$ ) におけるダイアゴナル走法, V1 スケーティング走法, V2 スケーティング走法 および V2 オルタネイトスケーティング走法中のピッチ, ストライド, 1 サイクル中におけるグライド時間およびプッシュオフ時間の割合を測定し,  $5^{\circ}$ の登り斜面では, 滑走速度, ストライドおよびグライド時間の割合が減少したこと, ピッチおよびプッシュオフ時間の割合が増加したことを示した. さらに, Bilodeau et al.の結果から, グライドおよびプッシュオフ時間を計算すると, グライド時間に減少がみられ, プッシュオフ時間には変化がみられなかったことを示した. これらの結果は, 登り斜面においては斜面の影響によってグライド時間が減少してストライドが短くなる一方でピッチが高くなることを示唆するものである. また, 登り斜面ではピッチが高くなるものの, ストライドが大幅に減少したために滑走速度が低下したことが考えられる. したがって, 登り斜面における滑走技術は, 平地と同一の方法ではないことを踏まえた上でトレーニングすることが望ましいと考えられる.

いくつかの先行研究においては, 時間分析手法や動作分析手法を用いた競技会における滑走技術の検討がなされている. 時間分析手法を用いた研究で, 竹田ら (1998) は, 長野五輪大会の男子 10 km 種目クラシカル競技および女子 5 km クラシカル競技において, コースの地形 (登り斜面, 平地, 下り斜面) に合わせた計測ポイント (図 1.2.4, 下図) において各選手の経過時間を記録し, 日本人選手と外国人トップ選手とのパフォーマンスの比較を行った. その結果, 両競技において日本人選手は, 登りの局面や平地と登りが繰り返

すような局面で外国人トップ選手との経過時間に差があることを示した (図 1.2.4, 上図) .

また日本人女子選手においては, 下り斜面の後の平地において, 外国人トップ選手との差が顕著であることを示した. これらの結果は, 日本人選手の競技パフォーマンスの向上のためには, 登り斜面での滑走技術の向上, 女子選手の平地での滑走技術の向上が重要であることを示唆するものである.

実際の競技会において Gregory et al. (1994) は, 1992 年アルベールビル五輪大会の女子 30 km 種目の 14 km および 29 km 地点の登り斜面において V1 スケーティング走法のキネマティクス解析を行った. その結果, 成績上位群が, 成績下位群と比較して滑走速度が高く, 肘関節の伸展時の最大角度および屈曲時の最小角

度, 膝関節の屈曲時の最小角度および体幹の屈曲時の最小角度が小さいことを示した. また, Street et al. (1994) は, 同大会の男子 50 km 種目の 15.2 km および 31.9 km 地点の下り坂において動作を解析し, その結果, 両地点において, 下り斜面のパフォーマンスが高い

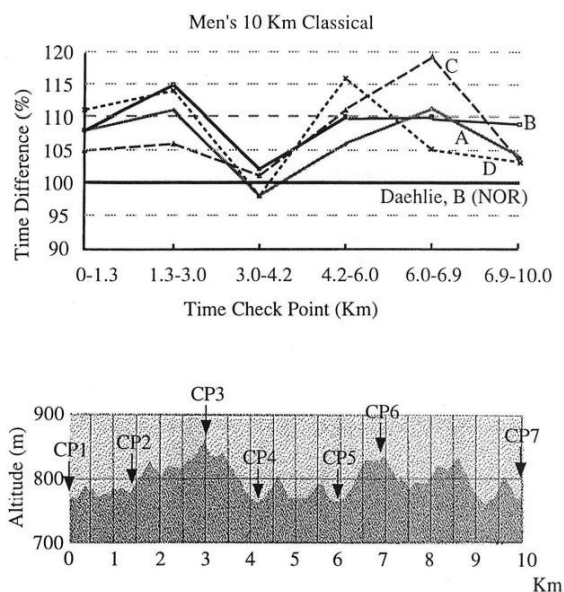


図 1.2.4 長野五輪男子 10km クラシカル競技において優勝した, Daehlie, B 選手と日本人選手 A~D の差(上図)と計測地点(下図). (竹田ら, 1998)

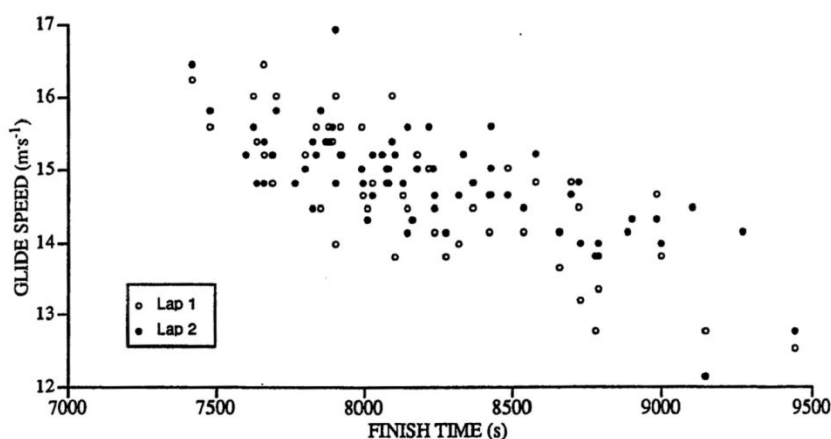


図 1.2.5 競技の所要時間と下り斜面滑走時の速度との相関関係( $p < 0.01$ ).

Street et al. (1994) より一部改変

選手が高い競技成績であったことを示した (図 1.2.5) . これらの結果は、登り斜面では、肘を伸ばし過ぎず、ある程度屈曲させた状態で体幹を深く屈曲させたプッシュ動作を行うこと、スキー接地時に膝をより屈曲させて滑走することが重要な技術であることを示唆するものである。また下り斜面の滑走技術も登り斜面同様、競技パフォーマンスの向上に重要であることを示唆するものである。

一方で、長野五輪以降に時間分析を行った研究、アルペールビル五輪後に動作分析を行った研究は見当たらない。クロスカントリースキー競技の滑走技術は、スキー用具の進歩とともに変化していることが予想されるため、競技会を対象とした研究を継続していくことが必要である。

### 3) キネティクスの特徴

クロスカントリースキー競技では、左右両方のポールとスキーを用いて、推進力を獲得して滑走運動を行う。陸上における歩行や走行などと異なり、摩擦抵抗の低い雪上でスキーによる滑走を行い、さらに四肢によって獲得される推進力は非常に複雑な特徴を有しており、動作分析などのキネマティクスの分析手法だけでは議論できない力学的メカニズムで動作が行われている。特に滑走速度を獲得するための力の発揮の様相をキネティクスの分析手法を用いてとらえることは、各走法の特徴を把握し、競技パフォーマンスの向上を図るうえで必要不可欠である。そのため、これまでにフォースプレートや雪中に埋設したり、ストレインゲージやフォーストランスデューサーをスキーやポールに組み込んだりして、滑走中のポール反力およびスキー反力の計測が行われてきた。

クラシカル走法を対象とした研究で Ekström (1981) は、ポールとスキーにロードセルを組み込み、ダイアゴナルおよびダブルポーリング走法中のスキー反力を計測した。その結果、平地における滑走速度 3.3-4.2 m/s のダイアゴナル走法においては、ポール反力の長軸方向のピーク値が 28 %BW (Body weight) であり、スキー反力の進行方向のピーク値が 10 %BW であることを示した。また、ダブルポーリング走法においては、ポール反力の長軸方向のピーク値が 30 %BW であることを示した。同様に、Pierce et al. (1987) もダイアゴナル走法中のスキー反力を測定し、スキー反力の進行方向のピーク値が 20 %BW であり、ポール反力の長軸方向のピーク値が 10 %BW であるこ

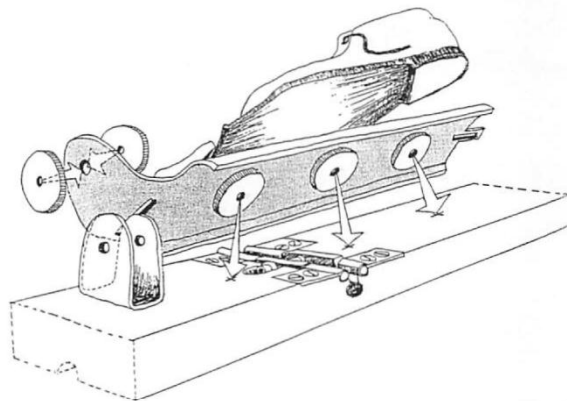


図 1.2.6 進行方向および鉛直方向の力を計測するためのロードセルを組み込んだ計測用スキー (Ekström, 1981)

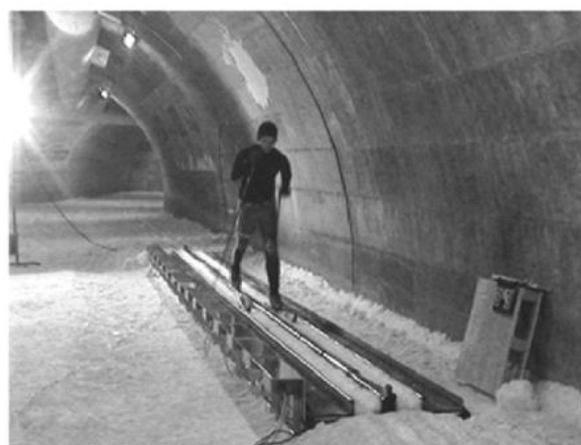


図 1.2.7 クラシカル走法中の力を計測するための特設フォースプラットフォーム . (Vähäsöyrinki et al., 2008 より一部改変)

とを示した．両者のポール反力およびスキー反力の値に差があるのは，測定環境（斜度や滑走速度）や測定機器の違いによるものと考えられるが，Pierce et al.の測定に関する情報が十分ではないため，十分な比較は難しい．Vähäsöyrinki et al. (2008) は，2.5°の斜面を用いて，左右両方のポール反力およびスキー反力をそれぞれ計測する特設フォースプラットフォームを製作し（図 1.2.7），滑走速度 5.6 m/s のダイアゴナル走法においては，スキー反力の進行方向の平均値が 21 %BW であり，

ポール反力の進行方向の平均値が 7 %BW であることを示した．これらの結果を比較すると，Pierce et al. と Vähäsöyrinki et al.の結果は類似した結果であるといえる．このことから，機器の違いによる差異を除外して考えると，平地では，ポールのプッシュ動作による力発揮が優位（Ekström, 1981）であり，登り斜面では，キック動作による推進力の獲得が優位であることが推察される．さらに Vähäsöyrinki et al.は，異なる速度においてポール反力およびスキー反力を測定し，滑走速度の増加に伴い，力が増加することを示している．このことから，斜面や速度に応じて，上肢と下肢の力発揮を調整しながら滑走が行われているといえる．

スケーティング走法を対象とした研究では，Smith (1992) は，大型フォースプラットフォーム（図 1.2.8）を雪中に埋設し，V1 スケーティング走法，V2 スケーティング走法および V2 オルタネイトスケーティング走法中のポール反力およびスキー反力を測定し，その様相を示した．図 1.2.9 は，Smith が 2 種類のスケーティング走法における 1 サイクル中の力の様相を示した図である．まず，V1 スケーティング走法においては，ポールの接地する側（以下，Strong side とする）のスキー反力が大きく，ポールを接地しない側（以下，Weak side とする）の反力が小さいことがわかる．Strong side の反力が接地後徐々に増加してピークを迎えるのに対し，Weak side の反力が接地後一度急激に立ち上がり，その後減少して再度増加を示している．これは，Strong side ではポールとスキーをほぼ同時に接地するため

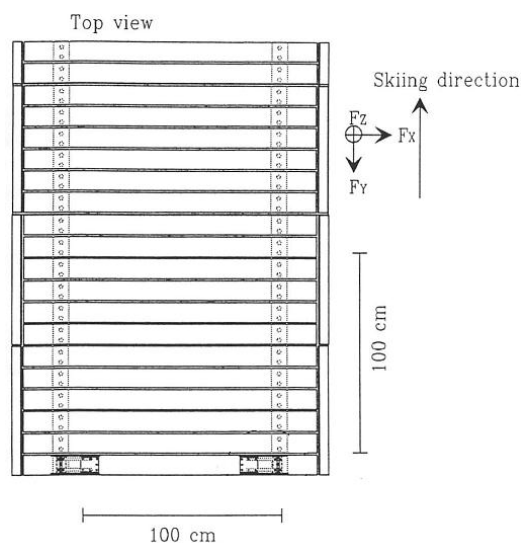


図 1.2.8 スケーティング走法用に開発された大型フォースプラットフォーム．  
(Leppavuori et al., 1993 より一部改変)

に、身体質量がポールにも伝わるのが原因である。一方の **Weak side** では、スキー接地時にポールの接地がないため、身体質量によって力が大きく立ち上がっている。左右の脚では力発揮の様相が異なることは、滑走中の疲労などにも影響すると思われる。V2 スケートディング走法においては、左右両方のスキー反力の様相は同じであり、スキー接地後に著しく力が立ち上がり、ポール接地とともに力が一度減少したのち、再度プッシュオフ動作によって力が大きく立ち上がることが示されている。スケATING走法間で力発揮の様相が異なるのは、さまざまな地形に対応して走法が変化させてきた結果であり、各走法の特徴がさまざまな地形に対してどのような利点を持つのかを把握することが重要であると考えられる。しかしながら、地形の変化と力発揮の様相とを体系的にまとめた研究はなく、今後の研究課題であると考えられる。

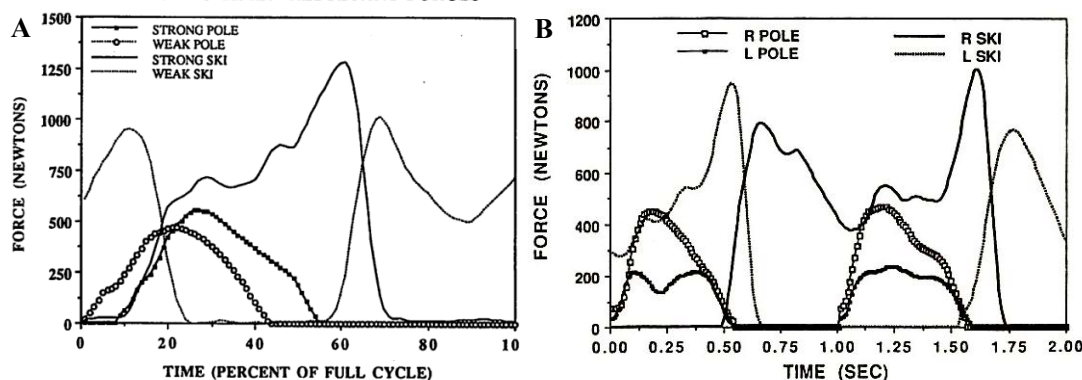


図 1.2.9 2 種類のスケATING走法中の力の様相.

A) V1 スケートディング走法, B) V2 スケートディング走法 (Smith, 1992 より一部改変)

また、夏季シーズンのトレーニング用に用いられるローラースキー滑走時のポール反力およびスキー反力の報告もある。Street et al. (1995) は、フォーストランスデューサーを組み込んだローラースキー板を製作し、V1 スケートディング走法における 3 方向のスキー反力を計測した。その結果、滑走時には、ローラースキー板に対し、鉛直方向の力が大きく作用していることが示された。このことは、ローラースキーによる V1 スケートディング走法では、鉛直方向に力を発揮しながら、反力が進行方向へと変化するようにローラースキー板を傾けることで推進力を得ていることを示唆するものである。一方、路上のローラースキーによる滑走動作と雪上のクロスカンリースキー滑走動作を比較した研究もある (Pinchak et al., 1987) 。 Pinchak et al. (1987) は、V1 スケートディング走法および V2 スケートディング走法中には、接地中のスキー板が雪上では直線的に滑走するのに対し、路上では外側に弧を描くように滑走することを示している。これは、前後にタイヤがついたローラー

スキー板の形状が原因であり、ローラースキー板が傾いた状態でたわむことで曲線的な軌道になると考えられる。また、北村ら (2002) は、V2 スケーティング走法中には、滑走速度およびピッチが減少したこと、プッシュ局面では局面時間およびストライドが減少し、スイング局面では、局面時間およびストライドが増加したことを示した。これらの結果は、路上の滑走ではタイヤの転がり抵抗を受けるが雪上では雪面との摩擦抵抗を受けるという違いによるものと考えられる。これらの結果から、路上のローラースキーによる滑走動作と雪上のクロスカン트리スキーによる滑走動作ではいくつかの違いがあることが示唆される。しかしながら、ローラースキー板を用いた研究は、研究環境をある程度一定に保つことができるため、雪上での研究と比べるとより詳細な研究を行えるという利点がある。そのため、ローラースキー板の性能を可能な限り雪上に近づけることが、クロスカン트리スキー競技の研究をするうえで重要であろう。



### 第3節 本研究の目的

本研究の目的は、クロスカントリースキー競技の効果的な技術トレーニングの構築において重要となる様々な技術情報をバイオメカニクスの的に明らかにすることである。具体的には、以下の通りである。

1. クラシカル種目におけるスタート局面で使用される滑走技術であるダイアゴナル走法およびダブルポーリング走法を取り上げ、高い速度を獲得するための滑走技術の特徴を明らかにする (第2章)。
2. フリー種目において主要滑走局面で使用頻度の高いV2 スケーティング走法を取り上げ、速度の獲得に必要な技術をキネマティクスのおよびキネティクスの分析によって明らかにしたうえで、高い速度を獲得するために効果的な技術トレーニング方法を検討する。(第3章)
3. クラシカル種目におけるダブルポーリング走法を取り上げ、疲労の影響による動作の変化をキネマティクスの分析によって明らかにし、滑走速度を維持するための技術ポイントを検討する (第4章)。

## 第2章 スタート局面のバイオメカニクス

### 第1節 クロスカントリースキー競技におけるスタート局面

クラシカル種目のスタート時においては、一般にダイアゴナル走法を用いて滑走速度をある程度高めたのちにダブルポーリング走法を実施することが多いが、スタート直後からダブルポーリング走法を用いる選手も見受けられる。一方で、キックダブルポーリング走法を用いたスタートは見受けられない。また、フリー種目のスタート時においては、一般にV1スケーティング走法を用いて滑走速度を高めたのちにV2スケーティング走法を実施することが多いが、V2オルタネイトスケーティング走法を用いたスタートは見受けられない。これらのことは、先にも述べたとおり、クラシカル種目ではキックダブルポーリング走法、フリー種目ではV2オルタネイトスケーティング走法が速度とピッチの獲得に優れていないためであると考えられる。つまり選手は、スタート時の加速局面において、スタートダッシュを用いて他の選手よりも先行するだけでなく、その後のレースストラテジーを想定しながら、効率よく、且つ、高い滑走速度を獲得するために最適な滑走技術を選択していることが考えられるが、選手がどの走法をいつの地点で実施しているのか、走法の切り替えが行われているのか、などの特徴は明らかになっていない。

2010年バンクーバーオリンピック男子スプリント競技において30位までの決勝トーナメント出場者を決する予選では、30位の選手と31位の選手のタイム差はわずか0.10秒であった(F.I.S.公式記録より、<http://www.fis-ski.com/>)。また一斉スタートで行われる準々決勝の全5レース中3レース、準決勝の全2レース、および決勝の1レースでは、写真判定によって勝敗が決定されている(テレビ中継映像より)。これらの結果からスプリント競技は、コンマ数秒を競う種目であることが伺える。一方で、決勝トーナメントのスタート局面をみると、スタート動作に優れる選手と劣る選手ではスタートの数秒後にスキー板2本分(およそ4mに相当)以上の差がついていることが確認できる(テレビ中継映像より)。つまり、スタート技術の向上によってコンマ数秒の時間短縮は十分に可能であり、より高い競技パフォーマンスを獲得できる可能性があるといえる。これらのことから、スタート局面に着目した研究が必要であると考えられる。

## 第 2 節 スタート局面の動作の特徴

### 1. 目的

本研究は，スタートの加速局面におけるダブルポーリング走法とダイアゴナル走法の特徴を明らかにし，より高い滑走速度を得るための示唆を得ることを目的とした．

### 2. 方法

#### 1) 被験者

被験者は，5 名の日本代表を含む大学クロスカントリースキー選手（年齢  $20.2 \pm 0.8$  歳，身長  $174.4 \pm 5.5$  cm，身体質量  $71.9 \pm 3.1$  kg）であった．実験に先立って，東京大学倫理審査委員会の承認を受けた．各被験者に本研究の目的と実験方法を説明した上で，実験のインフォームドコンセントを得た．

#### 2) データの取得

実験は，北海道旭川市にある富沢クロスカントリースキーコースの競技会場エリアにて行った．コースの天候は晴れ，気温および雪温が摂氏 0 度，新雪と旧雪の混ざった雪質であった．実験には，平坦に整備されたクロスカントリースキーのクラシカル専用コースの平らな 50 m を使用した．実験試技は，ダブルポーリング走法およびダイアゴナル走法と，被験者が最も滑走速度が高くなるように前述の 2 走法を自由に組み合わせた試技（コンビネーション試技：以下コンビ試技）の計 3 種類とした．なお，キックダブルポーリング走法は，スタート局面において一般的に実施されていないことから，解析対象から除外した．各試技は，スタート地点に被験者を静止させ，スタート地点から 50 m 地点通過までを最大努力で滑走させた．被験者の腰部の変位は，スタート地点後方 10 m からレーザー瞬時速度測定器（LAVEG-Sports, JENOPTIK 社製）によって測定した．またそれぞれの試技中の動作は，側方から高速度カメラ（EX-F1, Casio 社製）を用いて毎秒 300 フレーム，露出時間 1/1000 秒でパニング撮影した．試技は，各走法につき 2-5 回程度行い，最も滑走速度の高かった 1 試技を分析対象とした．各被験者とも，試行間に 5 分以上の休息をさせた．なお，実験は，全被験者のすべての試技を同じ日に実施した．実験に用いたコースの雪質は固く，実験前後にコースの相違はみられなかった．

### 3) 分析項目

レーザー瞬時速度測定器から得られた腰部の変位は、バターワースデジタルフィルタを用いて遮断周波数 3 Hz で平滑化し、スタートから 50 m 通過までの所要時間、10 m ごとの平均速度を算出した。また、被験者ごとに 10 m ごとの平均速度の中から最も高い速度を最高速度とした。側方のカメラ映像から 30 m 地点のリファレンスマーカー上を腰部が通過した時点と腰部の位置がスタートから 30 m を超えた時点を、同期地点とした。同期させたカメラ映像を用いて、ポールの接地を 1 サイクルの開始とし、次のポールの接地を 1 サイクルの終了として、両時点のフレーム数と腰部の変位から各試技の総サイクル数、1 サイクルごとの滑走速度およびピッチを算出した。さらに 1 サイクルごとの滑走速度とピッチから 1 サイクルごとのストライドを算出した。

### 4) 統計処理

各測定項目は平均値±標準偏差で示した。50 m の所要時間、最高速度、総サイクル数および 10 m ごとの滑走速度の比較には、ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いた。危険率は、5 %未満を有意として判定した。

## 3. 結果

### 1) 所要時間、最高速度と総サイクル数

各試技における 50 m 所要時間、最高速度、総サイクル数は、表 2.2.1 に示した。50 m 所要時間には、有意差は認められなかった。最高速度は、ダブルポーリング走法がダイアゴナル走法と比較して有意に高値を示した。総サイクル数は、ダイアゴナル走法がダブルポーリング走法と比較して有意に高値を示した。

表 2.2.1 各走法の 50 m 滑走時の所要時間, 最高速度, 総サイクル数

	ダブルポーリング	ダイアゴナル	z	p	コンビネーション
50m所要時間 (s)	9.39±0.59	9.15±0.39	0.67	0.500	9.00±0.65
最高速度 (m/s)	6.90±0.26	6.80±0.31	2.02*	0.043	7.05±0.40
総サイクル数 (times)	12.33±1.03	20.17±1.60	2.04*	0.041	16.33±0.52

各走法の値は, 平均値±標準偏差で示した. \*:  $p < 0.05$  (両側検定)  
コンビネーションは参考値として掲載した.

## 2) コンビネーション試技

2 走法を自由に組み合わせたコンビ試技では, 全被験者ともスタート直後にダイアゴナル走法を実施しており, その後 1 名が 9 サイクル目にダブルポーリング走法へと切り替えを行っており, 他の 4 名は 11 サイクル目にダブルポーリング走法へと走法の切り替えを行っていた. つまり本研究ではコンビ試技はダイアゴナル走法からダブルポーリング走法へと切り替えて滑走する試技であったことが確認された.

## 3) 速度曲線

図 2.2.1 は各走法におけるスタートから 50 m までの 1 サイクルごとの速度の平均値と標準偏差を示したものである. すべての走法において, スタート直後から急激な速度の増加がみられ, 20 m 付近からは滑走距離の増加に伴って緩やかな速度の増加がみられる. 速度曲線の平均値をみるとスタート直後からコンビ試技およびダイアゴナル走法が高い速度を示しており, 次いでダブルポーリング走法が高値を示した.

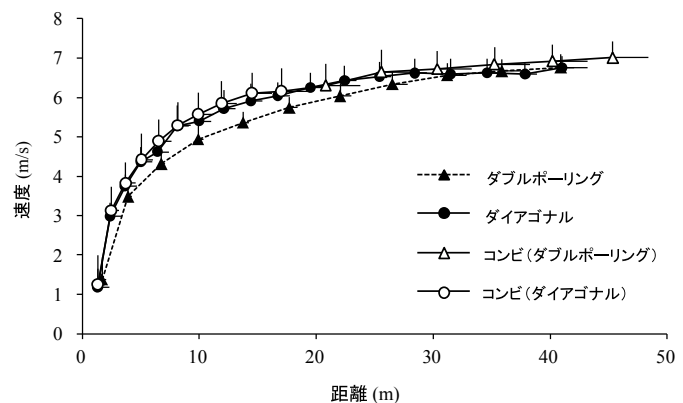


図 2.2.1 各走法の 1 サイクル毎の速度の変化

#### 4) ストライドとピッチ

図 2.2.2 は各走法におけるストライドの平均値と標準偏差を示したものである。ストライドは各走法ともスタートから 50 m 地点まで徐々に増加していた。ダイアゴナル走法のストライドが短く、ダブルポーリング走法のストライドが長いという特徴が示された。図 2.2.3 は各走法におけるスタートから 50 m までの 1 サイクルごとのピッチの平均値と標準偏差を示したものである。ダイアゴナル走法のピッチには、スタート直後から急激なピッチの増加がみられ、

その後低下し、11 サイクル目以降はほぼ一定であった。ダブルポーリングのピッチには、急激な変化はみられなかった。2 走法を比較すると、ダブルポーリング走法のピッチが低く、ダイアゴナル走法のピッチが高い特徴が示された。コンビ試技のストライドおよびピッチは、スタートから 15 m 付近まではダイアゴナル走法と同様の傾向を示し、走法をダブルポーリング走法へと変更した 25 m 以降はダブルポーリング走法とほぼ同様の傾向を示した。

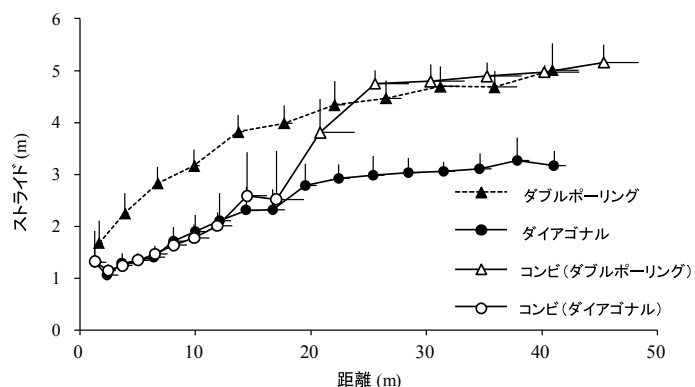


図 2.2.2 各走法の 1 サイクル毎のストライドの変化

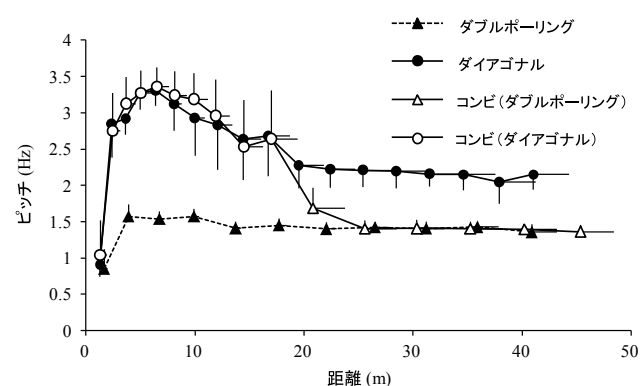


図 2.2.3 各走法の 1 サイクル毎のピッチの変化

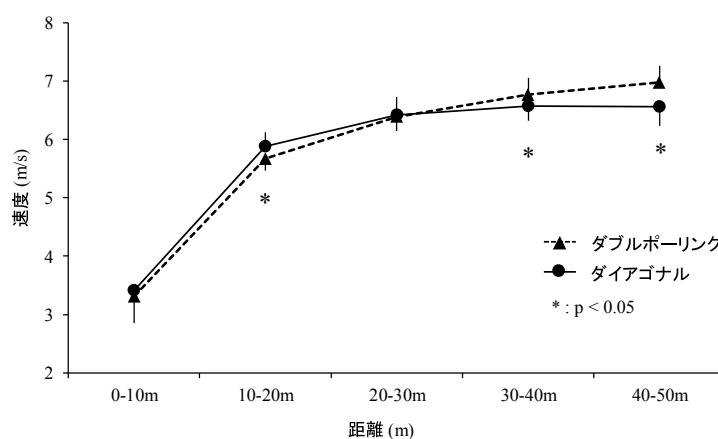


図 2.2.4 ダブルポーリング走法とダイアゴナル走法のスタート局面における 10 m ごとの滑走速度の比較

## 5) 走法間の速度の変化

図 2.2.4 はダブルポーリング走法およびダイアゴナル走法の 10 m 区間ごとの速度の分布を示したものである。ウィルコクソンの符号順位検定の結果、10-20 m 区間においてダイアゴナル走法がダブルポーリング走法と比較して有意に高値を示した。また、30-40 m および 40-50 m 区間においてはダブルポーリング走法がダイアゴナル走法と比較して有意に高値を示した。

## 4. 考察

### 1) ダブルポーリング走法およびダイアゴナル走法の特徴

本研究では、スタート時の加速局面において最適な走法を明らかにするために、クラシカル種目で用いられる 2 走法の 50 m の所要時間を比較した。その結果、所要時間には走法間に有意差はみられず、50 m の滑走時に突出して優れた単一の走法はなく、ほぼ同程度の時間で滑走できることが示された。しかしながら、最高速度や総サイクル数、ストライド、ピッチの結果をみると 2 つの走法の特徴は異なっていることから、各走法の長所と短所が相互に影響し合った結果、同程度の時間で滑走がなされたことが推察される。したがって、各走法の特徴を明らかにした上で、スタートからの加速に有効な走法について考察する。

### 1) ダブルポーリング走法

ダブルポーリング走法およびダイアゴナル走法は、1 サイクル毎の速度曲線をみると、スタート後に急激な増加がみられる点では一致する。しかし、総サイクル数、ストライドおよびピッチからみると、異なる特徴を持つ走法であるといえる (表 2.2.1, 図 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3)。ダブルポーリング走法中のストライドは、滑走距離が伸びるにつれて増加しているが、ピッチには変化がみられなかった。これらのことからダブルポーリング走法は、スタート局面において、ストライドを増加させることで加速を行っている走法といえる。スタートからの速度増加の程度はダイアゴナル走法に比べて比較的緩やかであり、最高速度に到達するまでに、比較的長い距離を要することが示唆された。一方で 30-50 m 区間ではダイアゴナル走法より高い速度を獲得していた。これらのことからダブルポーリング走法はスタート局面において、高い速度を獲得できるが、加速にはある程度の距離および時間が必要な走法であることが示唆される。

## 2) ダイアゴナル走法

ダイアゴナル走法は、ダブルポーリング走法と比較するとストライドが低く、ピッチが高い走法であるといえる (図 2.2.2, 2.2.3) . 図 2.2.2 をみると、ストライドはダブルポーリング走法と同様に滑走距離が伸びるにつれて増加している. 一方, 図 2.2.3 をみると、ピッチはスタート直後に急激な増加を示しており、ダブルポーリング走法とは異なる特徴を持つことが明らかである. これらのことからダイアゴナル走法は、スタート局面において、ピッチを急激に増加させながらストライドを増加させることで加速を行っている走法といえる. 速度の変化をみると、20-30 m 区間で最高速度に近い速度まで達しており、ダブルポーリング走法と比較すると高い速度を獲得するまでに必要な距離は比較的短いといえる. しかしながら 30-50 m 区間ではダブルポーリング走法と比較して低値を示しており、30 m 以降はダブルポーリング走法より滑走速度に劣る走法であるといえる. これらのことからダイアゴナル走法はスタート局面において、スタート直後の加速に優れた走法であることが示唆される.

## 3) コンビネーション試技の検討

コンビ試技時においては、指示していないにもかかわらず、全被験者がダイアゴナル走法からダブルポーリング走法へと走法の変更を行っていた. さらに、コンビネーション試技における 50 m の所要時間および滑走速度は、単一の走法よりも高い傾向にあった (図 2.2. 1) . このことは、選手が走法の切り替えを経験則などから直感的に採用しているか、あるいはトレーニングの過程において指導者に指摘されて、より滑走速度を高めやすい切り替えを実施していることを示唆するものである. そこで、各被験者に聞き取り調査を実施したところ、全被験者が指導を受けていないという内省が得られた. つまり、スタート時において、ダイアゴナル走法からダブルポーリング走法へと切り替える手段は、トレーニングの過程において指導者に指摘されているというよりもむしろ、選手の直感によって一般的に行われているといえる. そこでスタート直後に行われるダイアゴナル走法とその後に切り替えて実施されるダブルポーリング走法の 2 つの特徴を踏まえた上で、コンビ試技時における切り替えの利点について検討する. 図 2.2.1 をみると、30 m 付近においてダイアゴナル走法とダブルポーリング走法との速度曲線が交差しており、ダブルポーリング走法がダイアゴナル走法の速度に達したことが示されている. また、コンビ試技とダイア



ゴナル走法（図 2.2.1）をみると、25 m まではほぼ同様の变化を示しているが、25 m 以降にコンビ試技がダイアゴナルよりやや上方へと伸びていることがわかる。さらに 10-20 m 区間においてはダイアゴナル走法がダブルポーリング走法より優れており、40-50 m 区間においてはダブルポーリング走法がダイアゴナル走法より優れていること（図 2.2.4）を踏まえると、コンビ試技では、まず加速に有利なダイアゴナル走法を用いることでスタート直後に高い速度を獲得し、次にダブルポーリング走法へと走法を変更することでダイアゴナル走法では頭打ちとなる 30 m 以降においても、より高い速度を獲得していることが推察される。

一方で、参考値として示したコンビ試技の所要時間と最高速度は、ダブルポーリング走法やダイアゴナル走法とほぼ同等の値を示した（表 2.2.1）。このことは、ダブルポーリング走法とダイアゴナル走法が有する加速に有利な特徴を生かしたコンビ試技を実施しても、単一の走法との差がないといえる。つまり 2 走法の有利な特徴を生かしても、走法の切り替え動作そのものが、滑走速度の増加を妨げる一要因となっていることが考えられる。図 2.2.1 をみると、コンビ試技時において、走法が変更された 20 m 地点の速度曲線が一度平行になっていることが確認できる。また同時に切り替え動作直後の 11 サイクル目のストライド（図 2.2.2）が、単一の走法の値には達していない。したがって、コンビ試技実施の利点を生かすためには、ダブルポーリング走法への切り替え直後に単一の走法程度にすばやくストライドを増加させ、一連の滑走速度を低下させない技術を身につけることが、重要であるといえる。

ここで、実際の競技場面を想定すると、短距離種目であるスプリント競技においても約 1 km を滑走しなければならないことから、加速局面においては最高速度を獲得すると同時に、疲労を極力蓄積しない走法を選択することが重要となる。Mittelstadt et al. (1995) は、傾斜 1.7% の緩やかな上り坂における同一速度（67, 94, 121, 148, 174 m/min）下でダブルポーリング走法とダイアゴナル走法中の血中乳酸濃度を比較した結果、走法間に有意差がないことを示している。しかしこの報告では滑走後の血中乳酸濃度が 2.0 mmol/L 程度であり、Mognoni et al. (2001) や Mygind et al. (1994) が示したクロスカントリースキー競技の試合後の血中乳酸濃度（9.2-14.0 mmol/L）と比較すると設定された運動強度が低かったため、走法間の血中乳酸濃度に差がなかったことが考えられる。一方、別の研究（Saibene et al., 1989; Hoffman et al., 1990）では、平地における同一速度（14.2 km/h）下でダブルポーリング走法とダイアゴナル走法中の心拍数と酸素摂取量を比較した結果、ダイアゴナル走法中の心拍

数と酸素摂取量はダブルポーリング走法よりも有意に高値であることが示されている。つまり、平地の同一速度下において、ダイアゴナル走法はダブルポーリング走法よりも運動強度が高く、長い時間にわたって運動を継続するための運動効率に優れない走法であることが推察される。これらのことを踏まえると、加速局面でコンビ試技においてダイアゴナル走法からダブルポーリング走法への切り替えが行われたことは、走法の切り替えによって滑走速度を減少させるリスクを伴いながらも、運動を持続しやすいダブルポーリング走法を実施することで、その後の滑走を有利にする方策を選択したと考えられよう。

本研究は、スタートの加速局面のみに焦点を当てたが、レース全般にわたって、単一の走法で滑走することは少なく、走法を切り替えるのが一般的である。選手は、高い速度を維持しながら滑走を継続できる走法をコースの雪質や斜度に応じて選択しており、切り替えのタイミングの技術も競技成績と大きく関わっていると考えられる。この点については、今後より詳細な研究が必要である。

### 第3章 主要滑走局面のバイオメカニクス

#### 第1節 主要滑走局面でのV2スケーティング走法の特徴

クロスカントリースキー競技において選手は、滑走速度を高めるためにポールとスキーを用いて推進力を獲得しており、これまでいくつかの走法について推進力の獲得方法の研究が行われてきた。クラシカル種目において用いられるダイアゴナル走法は、左右の手足を交互に動かし、片手のポーリングと対側の脚のキックにより推進力を得て滑走する動作である。Pierce et al. (1987) は、一流選手のダイアゴナル走法中のポール反力およびスキー反力を計測した。その結果、スキー反力の進行方向のピーク値の割合が鉛直方向のピーク値の9%であり、ポール反力の超軸方向のピーク値の190%であることを示した。Vähäsöyrinki et al. (2008) は、高速(5.6m/s)のダイアゴナル走法においてスキー反力の進行方向の平均値が鉛直方向の平均値の15%であり、ポール反力の進行方向の313%であることを示した。これらの報告は、ダイアゴナル走法において、進行方向のスキー反力は鉛直方向の反力に対して小さいこと、プッシュ動作による推進力よりもキック動作による推進力が速度の獲得に貢献していることを示している。

ダブルポーリング走法は、両方のポールのプッシュ動作によって滑走する走法であり、ポール反力に着目した研究が多い。Nilsson et al (2003) は、ダブルポーリング走法中のポール反力を測定し、ポール反力の進行方向のピーク値が鉛直方向のピーク値の92%であること、プッシュ動作の開始時には鉛直方向に成分が大きいこと、後半にかけて進行方向の成分が高くなることを示した。また、Millet et al. (1998b) は、異なる速度でダブルポーリング走法中のポール反力を測定し、速度の増加に伴い、ポール反力の長軸方向の平均値およびピーク値が有意に増加することを示した。これらの研究は、ダブルポーリング走法において、プッシュ動作中の後半に大きな推進力を得ることが速度獲得のために重要であることを示すものである。

スケーティング走法は、スキーをV字に開き、身体質量中心を進行方向に対して側方に移動しながら滑走する走法である (Smith, 1994)。スケーティング走法中の下肢は、これまでに述べたクラシカル種目の走法と大きく異なり、水平面上の外側方向に力を発揮し、推進力を得るプッシュオフ動作が特徴である。ただし、上肢は、クラシカル種目の走法と同様に進行方向に力を発揮する。一般的に、下肢は上肢と比較して相対的に大きな力発揮

ができる機能的特性をもっているが、スケーティング走法の場合、力の伝達方向という点を考慮すると、上肢のほうが効率の良い力発揮をしている。Street et al. (1995) は、V1 スケーティング走法中のスキー反力の進行方向のピーク値は、外側方向のピーク値の 21 %、鉛直方向のピーク値の 8 %であり、ポール反力の進行方向のピーク値の 40 %であることを報告した。また、スキー反力の進行方向の平均値は、外側方向の平均値の 20 %、鉛直方向の平均値の 5 %、ポール反力の進行方向の平均値の 30 %であることを報告した。これらの結果は、プッシュオフ動作によって獲得される進行方向の成分が大きくないこと、ポール反力が滑走速度の獲得に重要な役割をもつことを示すものである。また、上肢と下肢の貢献の割合を走法間で比較すると、ダイアゴナル走法では下肢の割合が高く、ダブルポーリング走法および V1 スケーティング走法では上肢の割合が高いといえる。

Street et al. (1995) が対象とした V1 スケーティング走法は、1 サイクル中に左右どちらかのプッシュオフ動作に合わせて 1 度だけポールのプッシュ動作を行う走法である。この走法は、フリー種目が正式競技種目となってから用いられている一般的な走法であり、フリー種目について研究する上で適したものであった。しかしながら、近年、体力向上や技術進歩による競技の高速化に伴い、V1 スケーティング走法に代わり、V2 スケーティング走法の使用割合が増えており、V2 スケーティング走法の研究が増加している (Fujita et al. 2010; Stöggl and Müller, 2009; Stöggl et al. 2008, 2010; Sandbakk et al., 2010) 。 V2 スケーティング走法は、1 サイクル中に左右両方のプッシュオフ動作に合わせて 2 度のポールのプッシュ動作を行う走法であり、V1 スケーティング走法と比較してストライドが大きく、ピッチが少ない特徴がある (Bilodeau et al., 1992) 。現在、V1 スケーティング走法は急な上り坂、V2 スケーティング走法は平地や緩やかな上り坂、ラストスパートなどで用いられることが一般的である。V2 スケーティング走法は、スケーティング技術が進歩して考案された走法であり、V1 スケーティング走法に比較して新しい走法である。そのため、Street et al. (1995) が行ったような上肢および下肢それぞれの力の貢献について力学的視点から調べた研究がなく、V2 スケーティング走法のパフォーマンス向上 (滑走速度向上) のトレーニングの方向性について不明瞭な部分が多いのが現状である。

Smith (1992) は、V2 スケーティング走法中の 1 サイクル中のスキー反力を測定し、接地中に二峰性の力発揮がされることを示した。また、Stöggl et al. (2008) は、V2 スケーティング走法中のスキー反力を測定し、フライト局面 (左右のスキーが完全に雪面から離れる局面) がグライド局面中期にみられることを示した。2 つの先行研究では、滑走速度と 1

サイクルの所要時間（以下、サイクル時間とする）が異なっている。Smith (1992) の研究では、滑走速度が示されていないものの、サイクル時間が 2 s であった。一方、Stöggl et al. (2008) の研究では、滑走速度が  $7.15 \pm 0.59$  m/s であり、サイクル時間が 1.56 s であった。Stöggl et al. (2008) の研究は、Smith (1992) と比較してより短時間で動作が行われている。サイクル時間の短縮は、ピッチの増加と同義である。V2 スケーティング走法中のピッチの増加は、滑走速度増加と関係しており (Bilodeau et al., 1992; Millet et al., 1998; Stöggl and Müller, 2009) , Smith (1992) の研究が Stöggl et al. の研究と比較して低い滑走速度で測定されていることが考えられる。つまり、フライト局面は、滑走速度の増加に伴って発生することが予想される。しかし、フライト局面の発動メカニズムについては研究がされていないのが現状である。

Millet et al. (1998b) や Stöggl and Müller (2009) , Nilsson et al. (2004) は、V2 スケーティング走法中にピッチが速度の増加に伴い増加する一方で、3.6 m/s から 5.2 m/s までの速度増加時にはストライドが有意に増加するが、5.2 m/s から 6.2 m/s 時にはストライドが減少したこと (Millet et al., 1998b) , 7.0 m/s から 8.8 m/s の高速滑走中にはストライドが速度の増加に伴って変化しないこと (Stöggl and Müller, 2009) , 速度域に関わらずストライドが変化しないこと (Nilsson et al., 2004) を報告している。つまり、速度増加は主にピッチの増加で達成されるといえる。これは、高速度を達成するためには、スキー板やポールに 1 回で長く力をかけ続けるというよりも、大きな力を瞬間的に掛ける方が良いことを示唆する結果である。Millet et al. (1998b) , Stöggl et al. (2010) の結果はこの点を裏付けるものである。Millet et al. (1998b) はポール反力と滑走速度との関係について研究している。彼らは、ポール反力のピーク値および平均値が速度の増加に伴って増加する一方で、ポールのプッシュ時間は速度の増加に伴い減少することを明らかにした。Stöggl et al. (2010) はローラースキー板を用いてスキー反力の鉛直成分を測定した。彼らは、脚力の増加が滑走速度の増加に重要な役割を持つことを示している。一方で、プッシュオフ時間は速度の増加に伴い減少していることが示された。結論として、高速度を達成するためには、スキー板やポールに大きな力を瞬間的に掛けることが重要であることがわかる。

ところで、大きな力を瞬間的に掛けることは、力学的に大きなパワー発揮が必要なことを意味している。つまり、身体能力の点において、力発揮能力よりもパワー発揮能力がより重要であるといえる。Haymas et al. (1980) は、女子クロスカントリースキー選手は、大腿四頭筋の身体質量あたりの最大筋力が男子の約 90.4 % , パワーが男子の約 81.6 % である

ことを明らかにした。速度向上には力発揮能力よりもパワー発揮能力が重要であるにも関わらず、この結果は、女子選手が筋力よりパワーが大きく劣ることを示している。また Gaskill et al. (1999) は、女子クロスカントリースキー選手の上肢のパワーが、男子選手と比べて劣ることを示している。これまでの運動力学的な先行研究はほとんどが男子被験者のものであり、上肢および下肢のパワーが劣る女子の場合には高速度達成に対して異なる方策（長く力を掛けるなど）が取られることが考えられる。

つまり、クロスカントリースキー競技において主要な走法である V2 スケーティング走法を対象としたバイオメカニクス研究は、上肢と下肢の力の貢献や滑走速度の増加に伴う動作や力の変化、性差による技術の差異を明らかにできていない点で問題である。これらの問題点を解決することは、滑走技術を向上させるための示唆やトレーニングを構築し、パフォーマンスの向上をはかるうえで重要であることが考えられる。

## 第2節 V2 スケーティング走法の上肢と下肢の力の貢献

### 1. 目的

本研究では、V2 スケーティング走法における上肢と下肢の貢献度合いを定量することを目的とした。

### 2. 方法

#### 1) カセンサシステムの製作

本研究で使用したポールは、競技用のポール (Platinum power grip, Karhu ski Oy, Finland) であった。ポールセンサは、ポールの長軸方向を計測するために、アルミで切削したパーツを組み立て、センサ部の左右に 1000  $\Omega$  型ストレーンゲージ (N11-FA-5-1000-11, Showa

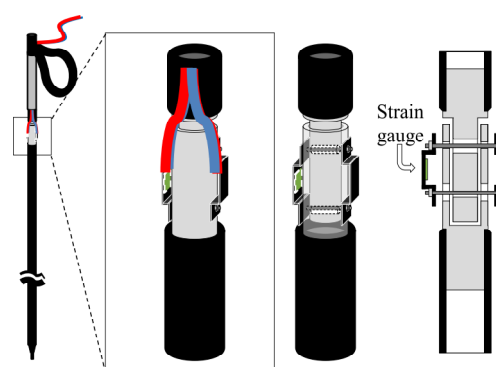


図 3.2.1 ポール反力計測機器の概略図

Measuring Instruments Co. Ltd., Japan) を貼り付けて製作した (図 3.2.1)。ポールは被験者の身長に合わせ、150 cm, 155 cm の 2 種類を製作し、被験者に最適な長さを選択させた。製作したポールセンサの片方の総重量は 750 g であった。ポールセンサのキャリブレーションは、ロードセル (LUR-A-1KNSA1, Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd., Japan) とポールセンサを縦に並べて固定し、上方向からプレス機 (Yuatsu Power R-1, Riken Seiki Co. Ltd., Japan) で加重し、ポールセンサの電圧の変化とロードセルに加わった力とをデータロガー

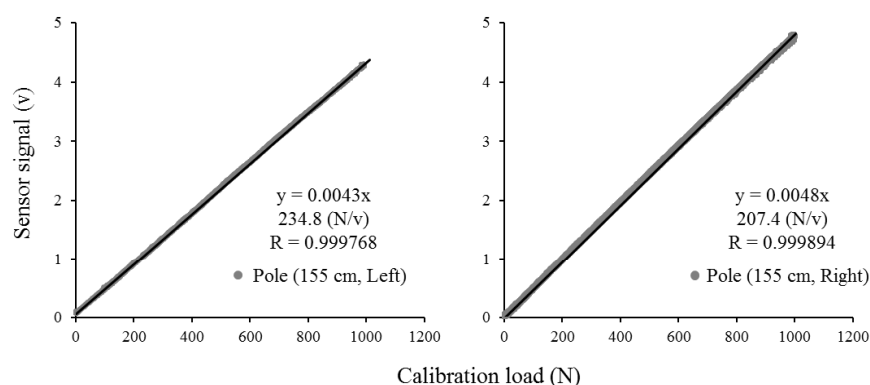


図 3.2.2 ポールセンサのキャリブレーション結果の例.

キャリブレーション結果は、相関係数が、0.999 以上であることが示された。

に記録し、直線回帰式により、ポールセンサの 1v あたりの力の校正値を算出した。このキャリブレーションによって得られた校正値を用いて電圧データを力へと変換した (図 3.2.2)。

スキーセンサは、スキー板に対して、左右、前後、上下方向の力を計測するために、チャージアンプ内蔵 3 成分力センサ (9602, Kistler Japan Co. Ltd., Germany) を用いた。

図 3.2.3 のように各スキーに穴を開けて、2 個組み込んでプリロードしたセンサ部を取り付けた。プリロードしたセンサ部には、2 種類のビンディング (SNS Pilot Equip Skate, Salomon SAS, France, および NNN Racing

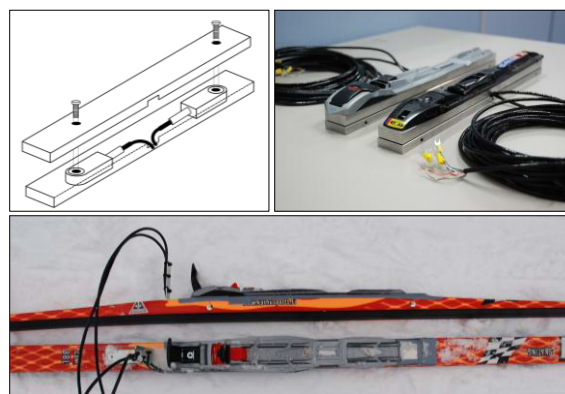


図 3.2.3 スキー反力計測機器の概略図

R3 Skate, Rottefella AS, Norway) が取り付けられるよう穴をあけて、被験者のブーツの種類に応じて、取り換えられるようにした。製作したセンサスキーの片方の総重量は、約 2.6 kg であった。センサ部のプリロードおよびキャリブレーションは、Kistler 社に校正を依頼し、電圧データを力へと校正する値を算出していただいた。

なお、左右のポール (2 channels) とスキー (12 channels) の出力信号は、1000 Hz で被験者の背部に装着したデータロガー (NR-600, Keyence corporation, Japan) に収集した。

## 2) 被験者

被験者は、6 名の日本代表を含む男子クロスカントリースキー選手 (年齢:  $20 \pm 1$  歳, 身長:  $169.9 \pm 2.4$  cm, 身体質量  $68.1 \pm 2.4$  kg) とした。実験に先立って、東京大学倫理審査委員会の承認を受けた。各被験者に本研究の目的と実験方法を説明した上で、実験のインフォームドコンセントを得た。

## 3) 動作の撮影

実験は、北海道美瑛町の美瑛白金ノルディックコースのスタート地点付近にて行った。実験時の天候は、曇り、気温および雪温が摂氏-2 度、新雪の雪質であった。ビデオ撮影は、雪上コースの側方および前方に設置した 2 台の高速カメラ (EX-F1, Casio, Japan) を用いて、毎秒 300 フレームで撮影した。また縦 7 m×横 3 m×高さ 2.5 m の画角を設定し、合計



15ヶ所にキャリブレーションポール (マーク間 0.5 m) を立てた。2 台のカメラによって撮影された映像を PC に取り込み、動作解析ソフト (Frame-DIAS IV, DKH, Japan) を用いて、身体 23 点、両ポールの先端 2 点、両スキーの前後端 4 点の計 31 点を毎秒 100 フレームでデジタイズした。デジタイズされた座標値を 3 次元 DLT 法により実長換算し、身体各部の 3 次元座標を求めた。算出された 3 次元座標は、バターワースデジタルフィルタによって 7 Hz で平滑化した。その後、Ae et al. (1992) の身体部分慣性係数を用いて身体質量中心の座標を求めた。

#### 4) 力の計測

本研究では、静止座標系は、コースの進行方向に向かって右方向を X 軸、進行方向を Y 軸、鉛直上方向を Z 軸と定義した。ポールのセンサ座標系は、ポールの先端からポールのグリップ部の方向に向かう軸をポールの長軸とした。計測されたポールの力データは、ポールの長軸方向から静止座標系に変換後、各軸成分に分解して示した。また、スキーのセンサ座標系は、スキーの後端から先端方向をスキーセンサ Y 軸、スキーセンサ Y 軸方向に向かって体の外側方向をスキーセンサ X 軸 (左スキー：左を正方向、右スキー：右を正方向)、スキーの底面に対して垂直上方向をスキーセンサ Z 軸として定義した。計測されたスキーの力データは、センサ座標系から静止座標系に変換後、各軸成分に分解して示した。プッシュ動作の各局面は、ポールの接地から離地までをプッシュ局面、ポールの離地から次の接地までをスイング局面とした。また、V2 スケーティング走法中の各局面は、スキー板の接地によりスキー反力の鉛直方向の成分が上昇し、その後下降して一度成分が最小になるまでをグライド局面、グライド局面終了から鉛直成分が再度立ち上がり、スキーの離地によって 0 N になるまでをプッシュオフ局面、スキーが離地してから再度接地するまでをスキーリカバリ局面とした。なお本研究では、ポール反力を上肢の貢献による力発揮、スキー反力を下肢の貢献による力発揮と見立てて、反力の大きさからそれぞれの貢献度を定量した。

#### 5) データ分析方法

本研究では、分析の対象とする滑走データを、映像撮影区間内における左右の 1 サイクルとした。得られた身体質量中心の変位から滑走速度、ストライド、ピッチを算出した。ポールとスキーそれぞれの局面の所要時間を算出した。また、プッシュ局面とプッシュオ

フ局面中の反力のピーク値，平均値を軸方向の成分ごとに算出し，ポールとスキーの左右それぞれのデータの平均値を被験者ごとの代表値とした．なお，データロガーと2台のカメラの同期は，データロガーの収集開始時に外部トリガによってLEDを発光させ，2台のカメラに映すことで行った．また，データロガーによって記録された力データは100 Hzに規格化し，動作データとサンプリング周波数を同期させた．

### 3. 結果

表 3.2.1 は，全被験者のサイクル特性を平均値と標準偏差で示したものである．滑走速度は  $6.07 \pm 0.09$  m/s であり，ストライドとピッチはそれぞれ， $5.56 \pm 0.35$  m， $1.1 \pm 0.07$  Hz であった．

表 3.2.2 は，全被験者の各ポール反力とスキー反力のピーク値および平均値を各軸成分に分けて示したものである．ポール反力の進行方向のピーク値および平均値はそれぞれ， $100 \pm 20$  N， $63 \pm 12$  N であった．スキー反力の進行方向のピーク値および平均値はそれぞれ， $202 \pm 48$  N， $106 \pm 18$  N であった．両ポールに作用した合力に対するスキーの力の割合は，ピーク値が101%，平均値が84%であった．

**表 3.2.1 V2 スケーティング走法中のサイクル特性**

velocity (m/s)	$6.07 \pm 0.09$
stride (m)	$5.56 \pm 0.35$
pitch (Hz)	$1.1 \pm 0.07$
poling time (s)	$0.28 \pm 0.01$
pole swing time (s)	$0.64 \pm 0.05$
glide time (s)	$0.66 \pm 0.09$
push-off time (s)	$0.5 \pm 0.04$
ski recovery time (s)	$0.68 \pm 0.05$

N = 6. All values showed mean  $\pm$  SD.

**表 3.2.2 V2 スケーティング走法中のポールおよびスキー反力**

	medial-lateral	horizontal	vertical
Pole peak force (N)	$9 \pm 2$	$100 \pm 20$	$104 \pm 27$
Pole mean force (N)	$5 \pm 1$	$63 \pm 12$	$57 \pm 12$
Ski peak force (N)	$630 \pm 119$	$202 \pm 48$	$1175 \pm 106$
Ski mean force (N)	$322 \pm 37$	$106 \pm 18$	$737 \pm 50$

N = 6. All values showed mean  $\pm$  SD.

図 3.2.4 は、0-100 %に規格化した 1 サイクル中のポールおよびスキーから発揮された力の平均値を、センサ座標系と静止座標系でそれぞれ示したものである。センサ座標系におけるポールの長軸方向の力は、ポールのプッシュ動作を開始後、急激に立ち上がり、僅かな間プラトリーな波形を示して、急激に低下した (図 3.2.4-A) . 長軸方向の力を静止座標系 (図 3.2.4-B) に変換すると、プッシュ動作直後の力成分には、鉛直方向の成分の割合が大きく、プッシュ動作の後半に進行方向の力のピークが出現することが示された。また、左右方向の力はわずかであった。

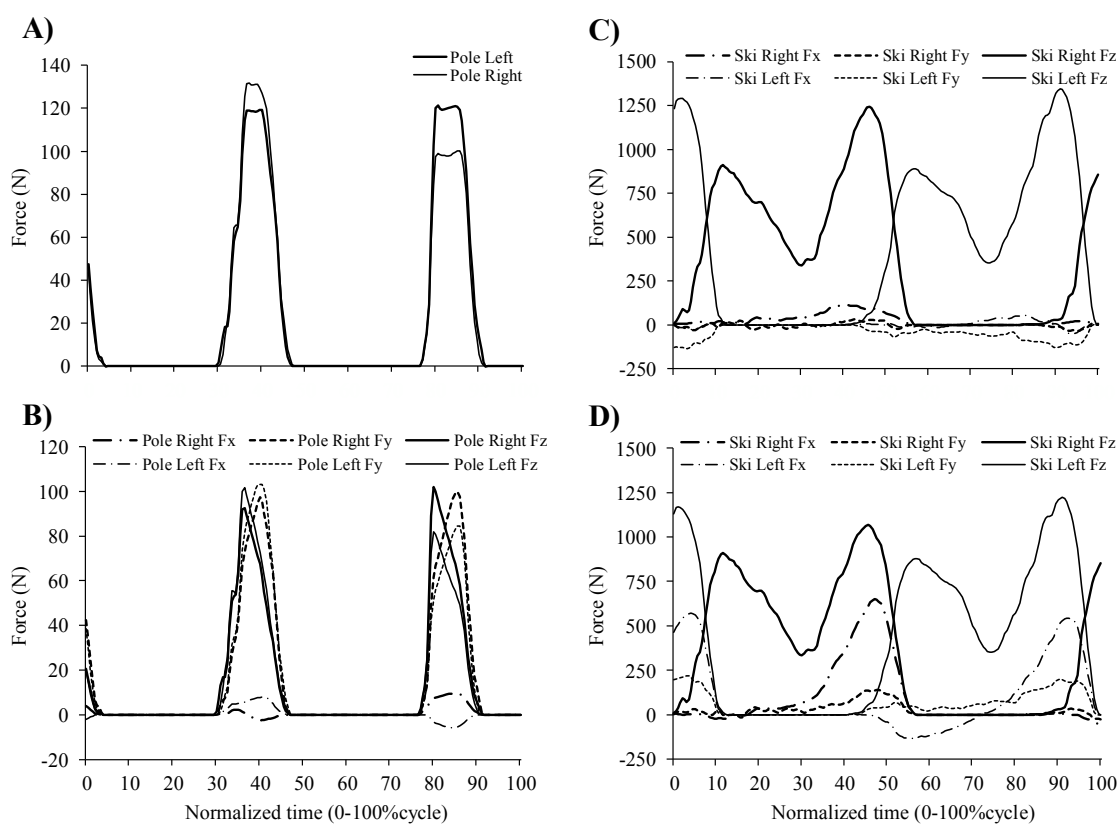


図 3.2.4 A) ポール長軸方向のポール反力, B) 静止座標系に変換されたポール反力, C) センサ座標系のスキー反力, D) 静止座標系に変換されたスキー反力.

センサ座標系におけるスキーの 3 方向の力をみると、接地から離地までに二峰性の力波形を示しており、鉛直方向の力成分の割合が大きく、左右方向および進行方向の成分の割合が小さいことが示された (図 3.2.4-C) . このセンサ座標系の力成分を静止座標系に変換すると、グライド局面では鉛直成分がほとんどであるが、プッシュオフ局面ではスキーセンサ座標系の垂直成分が静止座標系の左右および進行方向の成分に分解されていることが

示された (図 3.2.4-D) .

#### 4. 考察

本研究では、V2 スケーティング走法における下肢と上肢の貢献度を、ポールおよびスキーの進行方向の力の観点から明らかにすることを目的とした。その結果、身体質量がスキー板にかかることにより、鉛直方向には大きな成分を発揮し続けているが、進行方向には両ポールとほぼ同等の大きさの成分であることが示された。ポールから発揮された力は、接地直後に鉛直方向の成分が大きく、後半に進行方向の成分が大きいくことから、ポール接地後から徐々に進行方向へと力が向くようにポールの角度を変化させて推進力を獲得していることが示された。この結果は、ダブルポーリング走法中の力を測定した Nilsson et al. (2003) の報告と同様である。つまり、V2 スケーティング走法中には力学的にはダブルポーリング走法と同様の力発揮が行われているといえる。

スキーセンサから取得した力は、ほとんどがスキー板の底面に対して垂直方向の成分であった (図 3.2.4-C) 。しかしながら、静止座標系では、グライド局面では鉛直方向に力が発揮されているものの、プッシュオフ局面では左右および進行方向の成分が増加することが明らかとなった。この結果は、グライド局面ではスキーに身体を乗せて滑走を行っている局面であり、進行方向には比較的大きな力を発揮していないこと、プッシュオフ局面では、スキーの前後および横方向に対して力を発揮するのではなく、傾けたスキー板の底面に対して垂直方向に力を発揮することで滑走に必要な推進力を獲得していることを示すものである。Stöggl et al. (2008, 2010) は、インソール型の足圧センサ (Pedar mobile system, Novel GmbH, Germany) を用いてスキーブーツの底面に対して垂直方向の反力を計測し、滑走速度の増加に伴い、反力が増加することを示した。本研究の結果と合わせて考えると、滑走速度の増加にはスキーの滑走面に対するスキー反力の増加およびプッシュオフ局面中のスキーの傾け方が特に重要であることが示唆される。

本研究では、上肢 (両ポールのプッシュ動作) と下肢 (スキーを用いたプッシュオフ動作) において、力の発揮時間に大きな差がみられた (上肢 : 0.28 s, 下肢 : 0.50 s) 。この力発揮時間の差は、ポールの先端が接地後に滑らないため上肢が伸びきるまでの短時間で力発揮が完了されなければならないこと、および、スキーは身体とともに滑走しているために比較的大きな力の発揮が可能であることから生じると考えられる。つまり、スケーティング走法はプッシュオフ中もスキーが滑走しているという特性を有効に利用した合理的な

技術であることが示唆される。また上肢と下肢の貢献の時系列変化をみると、プッシュ局面とプッシュオフ局面はほぼ同時に開始されており、まず上肢の力発揮がピークを迎え(40 および 85 %地点, 図 3.2.4-B), その後, プッシュ局面が終わるのとほぼ同時に下肢の力発揮がピークを迎えている(45 および 90 %, 図 3.2.4-D)。つまり, V2 スケーティング走法における上肢と下肢の力の貢献の様相は, まずグライド局面中に滑走によってストライドを獲得しながらボールの振り戻しが行われる。その後, プッシュ局面とプッシュオフ局面が同時に開始され, 力の立ち上がりが早い上肢の動作によって推進力が獲得される。同時に下肢の動作によって徐々に推進力を増加させ, プッシュ局面の終了と同時に下肢の力発揮がピークを迎える。力発揮のピークのタイミングは, 上肢と下肢とでは時間的な相違がみられる。これは, 上肢および下肢の動作特性と滑走中の身体重心高の変化から説明できる。Fujita et al. (2010) は, V2 スケーティング走法中の身体重心高が, プッシュ局面では低下し, プッシュオフ局面では上昇したことを示している。プッシュ局面での上肢の動作は, 肩関節および肘関節の伸展と体幹の屈曲によって行われており, 上肢を下方および後方へと動作させるために身体重心高が低下する。一方, プッシュオフ局面での下肢の動作は, 股関節および膝関節の伸展によって行われており, 屈曲させていた下肢を伸展させることによって身体重心高が上昇する。つまり, 上肢の動作を行うためには身体重心高を高めておく必要があり, 下肢の動作を行うためには身体重心高を低くしておく必要がある。つまり, 身体重心高からみると, 上肢と下肢の動作に必要な条件が相反しており, これらを同時に遂行することは困難である。そのため, まずプッシュ局面で上肢の動作とともに下肢を屈曲することで身体重心高を低下させる。次にプッシュ局面の終了後, プッシュオフ局面に移行することで下肢の伸展とともに身体重心高を上昇させる。このように力発揮のタイミングを上肢から下肢へと切り替えることによって, 合理的に 1 サイクルの運動を遂行しているといえる。

Vähäsöyrinki et al. (2008) は, 斜度 2.5 度の上り斜面におけるダイアゴナル走法中 (速度 5.6m/s) のスキー反力の進行方向の平均値が 150 N, ボール反力の進行方向の平均値が 48 Nであることを示した。本研究の V2 スケーティング走法 (速度 6.07 m/s) では, スキー反力の進行方向の平均値が 106 N, ボール反力の進行方向の平均値は 126 N であった。これらの値から, V2 スケーティング走法ではダイアゴナル走法と比較すると上肢による推進力の獲得が大きいといえる。この差は, V2 スケーティング走法では両側のボールでプッシュ動作を行うが, ダイアゴナル走法では片側のボールのみでプッシュ動作を行うことから生じ

と考えられる。一方、下肢による推進力はダイアゴナル走法の方が大きい。ダイアゴナル走法では、キックワックスの使用によって進行方向に対してもある程度効率良くキック動作を行うことが可能であることがその要因であると考えられる。両研究ともに滑走速度は約 6 m/s であるが、この速度を獲得するために、V2 スケーティング走法では両方のボールのプッシュ動作による上肢の貢献度を大きく、ダイアゴナル走法ではキックによる下肢の貢献度を大きくして推進力を得ていることが分かる。このことから、効率良く力が伝達されるほう (V2 スケーティング走法ではボール、ダイアゴナル走法ではスキー板) を主に利用しながら、各走法の特徴を合理的に利用しながら各走法が行われていることが示唆される。

ダブルポーリング走法は、ボールのプッシュ動作によって推進力を得ており、主に上肢の貢献によって滑走速度を得ている走法であるといえる。Millet et al. (1998a) は、2.1 % の上り斜面において速度が 5.6 m/s のダブルポーリング走法の両方のボール反力の平均値を計測し、264 N であることを示した。本研究における両方のボール反力の平均値は、126 N であり、Millet et al. の結果の 48 % であった。これは V2 スケーティング走法では、ボールのプッシュ動作に加えてスキーを用いた脚のプッシュオフ動作によって推進力を獲得できるためである。同速度下では下肢の貢献の高い V2 スケーティング走法のほうが力発揮の点で有利な走法であると考えられるが、これらの結果はこの点を定量的に示すものである。

スケーティング走法を用いるフリー種目では、平地や緩やかな上り斜面で V2 スケーティング走法を用いることが一般的である。Millet et al. (1998a) は、2.1 % の上り斜面において最高速度における V1 および V2 スケーティング走法中のボール反力を比較し、最高速度時には、V2 スケーティング走法中のボール反力のピーク値が有意に高いものの、平均値では走法間で変わらないことを示した。V1 スケーティング走法の上肢に対する下肢の貢献度 (ピーク値を指標とした貢献度 : 40 %, 平均値を指標とした貢献度 : 30 %, 斜面状況 : 12 % の登り斜面, Street et al., 1995) および V2 スケーティング走法の上肢に対する下肢の貢献度 (ピーク値を指標とした貢献度 : 101 %, 平均値を指標とした貢献度 : 84 %, 斜面状況 : 平地, 本研究) が大きく変わらないものとする、2.1 % の登り斜面において、下肢の貢献度が高い V2 スケーティング走法のほうが推進力の獲得に優れた走法であるといえる。近年、緩やかな上り斜面で V2 スケーティング走法が使われるようになったことは合理的な選択であるといえる。ただし、斜度によって上肢と下肢の貢献比率が変化することが予想されること、および経験的に急斜面では V1 スケーティング走法が用いられていることから、

V1 および V2 スケーティング走法の優劣が逆転する境界となる斜度が存在することが示唆される．この点については今後の重要な検討課題である．

### 第3節 V2 スケーティング走法の滑走速度の増加とフライト局面の発生との関係

#### 1. 目的

本研究の目的は、フライト局面の発生と滑走速度の増加との関係の有無を明らかにすることとした。

#### 2. 方法

##### 1) 被験者

対象は、7名の男子一流大学クロスカントリースキー選手（年齢： $19.9 \pm 1.7$  歳，身長： $172.1 \pm 4.3$  cm，身体質量： $67.0 \pm 7.1$  kg）であった。各被験者の競技年数は10年以上であり，日本国内の主要大会での入賞経験を有していた。全被験者に実験の趣旨を説明した上で，インフォームドコンセントを得た。本研究は，東京大学倫理審査委員会の承認を得て実施した。

##### 2) 実験の手順

実験は，長野県野沢温泉村の上の原クロスカントリースキーコースのスタート地点付近の平地にて行った。実験時の天候は晴れ，気温摂氏15度，雪温0度，雪質は融解と凝結が繰り返されたザラメ雪であった。本研究では，被験者に2つの異なる速度での試行を実施させた。速度の設定は，中速滑走では10 kmの競技のペースとし，高速滑走ではスプリント競技のペースとした。被験者に，2つの速度の設定を明確に伝えた。2種類の試行の目標とする速度は，中速滑走が約5.5 m/sとし，高速滑走を約6.0 m/sと設定した。実験は，まず中速滑走による試行を行わせ，その後，高速滑走による試行を行わせた。それぞれの試行を3-5回行わせ，目標の速度に最も近い試行を分析対象とした。各被験者には，試行ごとに5分の休憩をさせて，疲労による動作への影響を除外した。滑走中に不自然な動きがみられた場合には失敗試行とし，休憩後に再度実施させた。

##### 3) 動作局面の計測

本研究で使用したポールは，競技用ポール（Yoko platinum power grip, Karhu Sporting Goods Oy, Finland）のグリップ下部にストレインゲージ（N11-FA-5-1000-11, Showa Measuring Instruments Co., Ltd., Japan）をポールのグリップ下部に貼り付けたものであった。



2 つの長さのポールを用意し、各被験者の身長に合わせて選択させた。また競技用スキー板 (Volkan sk, Karhu Sporting Goods Oy, Finland) を用意し、スキー板の底面側のブーツ前後の位置に穴をあけて、ストレインゲージを貼り付け、滑走面と同じ素材で埋めた。スキー板のセンサは、スキー板の前後どちらか、もしくは両方が雪面に接地するのを検出できるように設計した。ストレインゲージの信号は、データロガー (NR-600, Keyence Corporation, Japan) にサンプリング周波数 1000 Hz で収集した。局面時間は、ポールとスキーの接地と離地の波形を読み取って算出した。ストレインゲージを用いた一般的な手法は、計測した電圧を力へとキャリブレーションすることであるが、本研究では、非加重時にアーチ形状をもつスキー板が、加重によって雪面と完全に接地した場合、それ以上の大きな力を加えても変形しない (逆向きのアーチ形状にならない) ため、スキーにかかる反力を正確に計測することが不可能であった。そのため、得られた電圧波形は、雪面への接地と離地を区別するために用いることとした。

#### 4) 滑走動作の計測

動作の計測は、2 台のデジタルビデオカメラ (HVR-A1J, Sony Corporation, Japan) を、側方および前方に設置して、毎秒 60 フィールド、露出時間 1000 Hz で撮影した。動作の計測範囲は、縦 15 m×横 4 m×高さ 2 m とし、キャリブレーションポールを計 18 か所 (マーク間距離 0.4 m) に立てて、実長換算した。本研究では、進行方向を Y 軸、左右方向を X 軸、鉛直方向を Z 軸とする右手系の空間座標系を用いた。測定に当たり、圧雪車を用いて雪面を平らにした。

#### 5) 分析項目

2 つのビデオカメラの映像は PC に取り込み、被験者の身体 23 点を動作解析ソフトウェア (Frame-Dias II V3, DKH, Japan) を用いて、サンプリング周波数 60Hz でデジタル化した。デジタル化によって得られた値は、パンニング 3 次元 DLT 法 (高松ら, 1997) を用いて、静止座標系の座標値に変換した。さらに、3 次元座標値を、最適遮断周波数 (4.8-7.2Hz) を用いた 4 次のバターワースデジタルフィルタ (Winter, 1990) で平滑化した。その後、阿江ら (1992) の身体質量中心慣性係数を用いて、滑走動作中の鉛直方向の重心変位を求めた。データロガーと 2 台のビデオカメラの同期は、データロガーの収集開始に合わせて、LED を点灯させ、それを 2 台のビデオカメラに映しこませることによって行った。ストレイン

ゲージから得られた電圧波形は、映像データに合わせて 60 Hz に規格化した。

本研究では、動作解析区間における左右の 1 サイクルを分析対象とした。1 サイクル中の鉛直方向の身体質量中心の変位（以下、身体重心高とする）を求めた。身体重心高は、被験者の身長で規格化した。膝関節の屈曲-伸展角度は、大転子、膝関節中心と足関節外果を結んだ線分とし、角度を算出した。股関節の屈曲-伸展角度は、水平面と大転子と膝関節中心を結んだ線分とし、前額面上の角度を算出した。

ポールを用いた一連の動作は、2 つの局面に分類した。ポールの接地から離地をプッシュ局面、ポールの離地から次のポールの接地をスイング局面とした。スキー板を用いた一連の動作は、Bilodeau (1992) の方法をもとに局面を分類した。スキーの接地から膝関節の伸展運動が開始される瞬間までをグライド局面、膝関節の伸展運動が開始された瞬間からスキー板の内側のエッジを立てながら滑走させつつ、脚によって斜め後方に雪面を押すプッシュ動作によってスキーが雪面から離れるまでをプッシュオフ局面とした。グライド局面中にスキーが地面から離れていることが確認された場合には、同局面をフライト局面とした。また、スキーの離地から次のスキーの接地までをスキーリカバリ局面とした。なお、フライト局面がある場合、フライト局面終了後、膝関節が屈曲してから伸展運動を開始する瞬間をプッシュオフ局面の開始時点とした。

フライト時間は、右脚のフライト局面の時間とした。また、グライド局面とフライト局面における鉛直方向の重心変位、股関節および膝関節角度の最大値を算出した。

## 6) 統計処理

すべての結果は、平均値±標準偏差で示した。試行間の比較をするために、1 サイクルの開始から終了までを 101 個のデータに 3 次のスプライン関数を用いて規格化した。異なる 2 種類の滑走速度の比較には、スチューデントの T 検定を用いた。鉛直方向の重心変位、股関節および膝関節角度の比較には、反復測定の変因 ANOVA[2 試行×21 の時点 (0, 5, 10, ..., 100%の規格化時間, 5%間隔)]を用い、Bonferroni の方法を用いて下位検定を行った。危険率は 5 %未満を有意水準とした。

### 3. 結果

1 サイクル中の滑走速度は、高速滑走時 ( $6.22 \pm 0.51$  m/s) が中速滑走時 ( $5.55 \pm 0.39$  m/s) と比較して有意に高値を示した ( $t = -4.580, p = .004$ ) .

グライド局面中に左右のスキーが完全に地面から離れるフライト局面は、高速滑走時にのみ確認された (図 3.3.1) . 中速滑走時には、フライト局面が全被験者で確認されなかったが、高速滑走時には、右スキーでは 37.7-49.9 %地点で、左スキーでは 0-2.5 %と 91.2-100 %地点でフライト局面が確認された (図 3.3.2) . 身体重心高は、右脚ではフライト局面中期 (18-43%) に鉛直方向に上昇し始め、その後ピークに到達して下降した. 左脚ではフライト局面開始時 (68-93 %) に上昇し始め、その後ピークに到達して下降した (図 3.3.3) . 中速滑走時と高速滑走時の身体重心高に有意差は認められなかった ( $F = 1.206, p = .262$ )

フライト局面中には、両脚の股関節および膝関節の動作が屈曲運動から伸展運動へと変化した

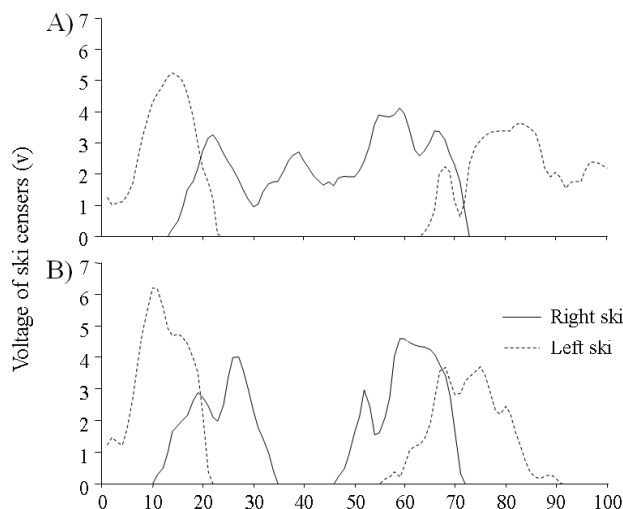


図 3.3.1 スキーセンサから得た電圧の例.

A)中速滑走時, B)高速滑走時.

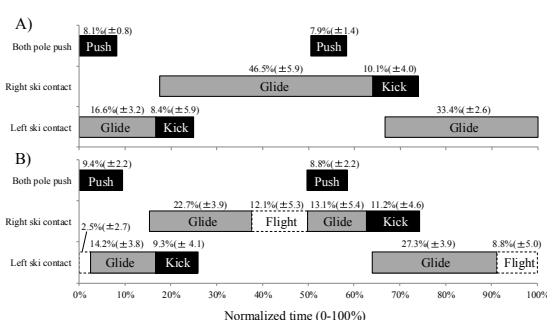


図 3.3.2 V2 スケーティング走法中の局面構造.

A)中速滑走時, B)高速滑走時.

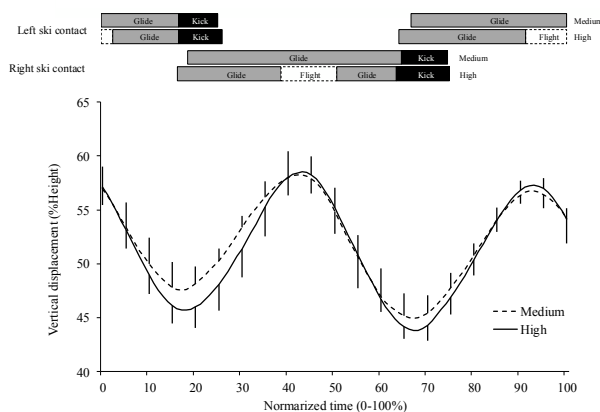


図 3.3.3 V2 スケーティング走法中の  
身体重心高の変化

た (図 3.3.4) . 中速滑走時と高速滑走時の股関節および膝関節角度に有意差は認められなかった (右股関節 :  $F = 1.192$ ,  $p = .273$ ; 左股関節 :  $F = .556$ ,  $p = .929$ ; 右膝関節 :  $F = .681$ ,  $p = .838$ ; 左膝関節 :  $F = .747$ ,  $p = .770$ ) . 高速滑走時の右脚のフライト時間は  $0.18 \pm 0.07$  s (表 3.3.1) であった. 高速滑走時の身体重心高は, 中速滑走時と比較して 4 名の被験者 (被験者 A, C, D, F) に上昇がみられた. また, 高速滑走時の膝関節の最大伸展角度は, 中速滑走時と比較して 4 名の被験者 (被験者 A, E, F, G) に減少がみられた. 高速滑走時の股関節の最大伸展角度は, 中速滑走時と比較して 5 名の被験者 (被験者 A, C, E, F, G) に減少がみられた. 被験者 B においては, 鉛直方向の重心変位に変化がみられず, 膝および股関節角度に増加がみられた.

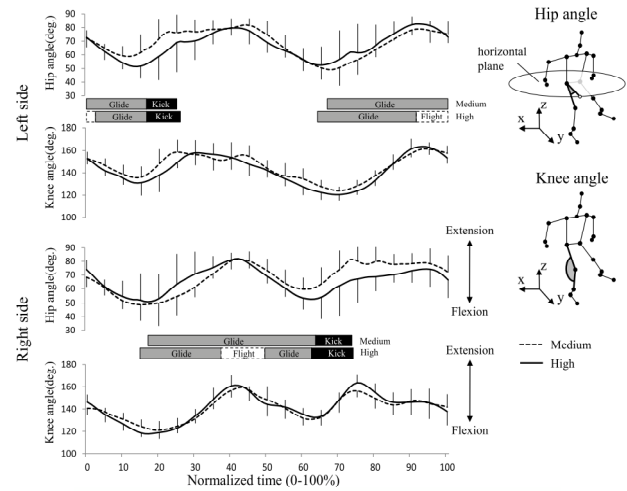


図 3.3.4 V2 スケーティング走法中の膝および股関節角度の変化

表 3.3.1 フライト時間, グライド, フライト局面の身体重心高と右脚の膝および股関節角度

Sub.	Trial	Flight time (s)	Center of mass (%Height)	Knee-angle (deg.)	Hip-angle (deg.)
A	Medium	—	56	166	83
	High	0.31	58	164	82
B	Medium	—	58	158	82
	High	0.22	58	170	84
C	Medium	—	58	159	90
	High	0.22	60	172	87
D	Medium	—	60	164	78
	High	0.11	61	173	81
E	Medium	—	60	164	89
	High	0.13	59	149	74
F	Medium	—	58	164	84
	High	0.13	61	158	78
G	Medium	—	60	162	83
	High	0.13	55	154	79
Mean $\pm$ SD	Medium	—	$59 \pm 1$	$162 \pm 3$	$84 \pm 4$
	High	$0.18 \pm 0.07$	$59 \pm 2$	$163 \pm 9$	$81 \pm 4$

#### 4. 考察

本研究では、中速滑走時にはフライト局面が確認されなかった。一方、高速滑走時にはフライト局面が確認された。この結果は、V2 スケーティング走法では、滑走速度の増加に伴いフライト局面が発生することを示すものである。

高速滑走時において、グライド局面中期の電圧は 0 V であり (図 3.3.1) , スキーが完全に雪面から離れていることが示された。また、他方のスキーや両方のポールも雪面に接地していないことから、身体が完全に宙に浮いている局面であるといえる (図 3.3.2) 。また、異なる速度での V2 スケーティング動作を比較したところ、身体重心高、股関節および膝関節角度にフライト局面の有無による差がみられなかった (図 3.3.4) 。これらの結果は、フライト局面ではスキーが雪面から完全に浮いてはいるものの、キネマティクスの的には微細な変化であることを示すものである。

フライト局面を発生させる下肢および身体質量中心の動きに着目すると、まず膝関節角度は、グライド局面 (右側 : 15-40 %; 左側 : 70-95 %) で伸展し、その後ゆるやかに屈曲しながら (右側 : 30-35 %; 左側 : 75-90 %) , フライト局面を迎えている (図 3.3.4) 。次に股関節角度はグライド局面で膝関節にやや遅れて伸展し (右側 : 20-40 %; 左側 : 65-90 %) , フライト局面 (右側 : 40 %) もしくはその近辺 (左側 : 90 %) で伸展のピークを示した。さらに鉛直方向の重心変位もほぼ同時に高さのピークを示した (図 3.3.3, 3.3.4) 。このことを言い換えると、グライド局面からフライト局面までには、脚の伸展によって、身体質量中心の前および上方への移動が行われているといえる。フライト局面では雪面から完全にスキーが浮いており、この動きは、身体質量中心の前および上方への移動と股関節および膝関節の伸展によって発生している。しかしながら、左右のフライト局面における身体質量中心の鉛直変位、膝および股関節の変化のタイミングは左右で異なっていることが示された (図 3.3.3, 3.3.4) 。さらに、被験者ごとのフライト局面における身体重心高、膝および股関節角度の変化に伴う特徴が異なっていることが示された。まず、高速滑走時に身体重心高を高めていた被験者 A, C, D, F は、身体重心高を上昇させてフライト局面を発生させていたことが推察される。また、高速滑走時に膝および股関節角度を減少させていた被験者 E, G は、脚を引き上げてフライト局面を発生させていたことが推察される。一方で、被験者 B は身体重心高にほぼ変化はなく、股および膝関節角度の最大値が増加しており、上述の方法とは別の方法によってフライト局面を発生させていることが考えられる。これらのことはフライト局面が、身体重心高と膝および股関節角度を用いて検討しても、一様に説

明できないメカニズムで行われていることを示唆するものである。

フライト局面が非常に短い時間で行われているために、本研究の測定精度では特定が困難であることもメカニズムを解明できない要因であると思われる。フライト局面に要した時間は、平均で 0.18 秒である (表 3.3.1)。フライト局面が身体質量中心の放物運動であると仮定して、鉛直方向の跳躍高をフライト局面に要した時間から推定すると、跳躍高はわずか 3.7 cm となる。さらに本研究の結果を踏まえると、フライト局面の発生に伴う動作の変化は非常に小さいため、必ずしも前上方に大きく跳び上がったり、雪面から高くスキーを持ち上げたりすることによって発生させているのではないことが示唆される。この小さな変化を明らかにするためにはより詳細なキネマティクスの分析手法を講じることや、フライト局面発生時の地面反力を測定して力学的な分析を行う必要があろう。

一方、V2 スケーティング走法中の力の作用に着目すると、フライト局面によって地面からスキー板が離れた状態では、地面反力が 0 N になるといえる。そのためフライト局面中は、脚の筋群が地面反力を受けずに脱力できる状態になることが考えられる。そのため、フライト局面を伴わない滑走とは筋活動が異なる可能性があり、脱力の有無によってその後の筋活動に変化を及ぼす可能性が示唆される。Perrey et al. (1998) は、5.30 m/s の滑走速度下において V2 スケーティング走法中の下肢筋群の筋電図を測定し、脚伸展筋群の伸張性筋収縮が膝の伸展前に起こることを示している。脚伸展筋群のストレッチショートニングサイクル (以下、SSC とする) は、脚伸展運動の前に素早い脚屈曲運動が起きるメカニズムであることが知られている。本研究においては、膝および股関節角度がプッシュオフ局面前のグライド局面およびフライト局面に屈曲の変化を示した。本研究と Perrey et al. (1998) の研究で扱われている動作は同じ V2 スケーティング走法であり、滑走速度も近似していることから、プッシュオフ局面では、SSC のメカニズムが脚の伸展筋群に発生していることが推察される。SSC は、脚の屈曲-伸展によって起こることから、膝および股関節が屈曲し始めるフライト局面が SSC の発生に関与している可能性は高い。つまりフライト局面中の脚筋群は、フライト局面によって地面反力を受けないことにより、筋活動を変化させていることが考えられる。

## 第4節 女子選手のV2スケーティング走法の滑走速度増加に伴う力の変化

### 1. 目的

本研究では，女子クロスカントリースキー選手を対象として，どのような方策で高速度の滑走がなされているかという点について，V2 スケーティング走法中のポールおよびスキー反力の観点から明らかにすることを目的とした．

### 2. 方法

#### 1) 被験者

9名の女子クロスカントリースキー選手（平均±標準偏差：年齢  $20.2 \pm 1.0$  歳，身長  $158.7 \pm 5.0$ cm，身体質量  $56.5 \pm 4.3$ kg）に，実験参加の同意を得た．全被験者は，国内の主要レースにおいて入賞経験を持ち，ローラースキー経験者であった．本研究は，東京大学倫理審査委員会の承認を得て実施した．

#### 2) ポールおよびスキーセンサ

全被験者は，競技用ポール（Yoko Platinum PG, Karhu Sporting Goods Oy, Finland）を使用した．特製センサは，左右のポールに装着した（図 3.4.1a）．このセンサは，ポールの長軸に対する力を測定できるように設計した．各センサは 112 g

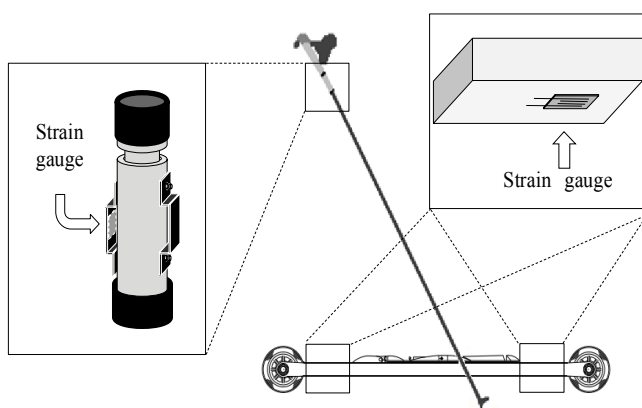


図 3.4.1a センサポールおよびセンサスキーの概略図

であった．2種類のポール（145cm，150cm）を用意した．それぞれの被験者のポールの長さは，彼女らのポールの長さとは一致するように準備させた．それぞれのセンサは，ロードセル（LUR-A-1KNSA1, Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd., Japan）とプレス機（Yuatsu Power R-1, Riken Seiki Co. Ltd., Japan）を用いて校正した（図 3.4.2）．実験に先立ち，特製のローラースキー板は，アルミの四角パイプ（600mm×40mm×30mm）とベアリングおよびタイヤ（610 mm, Marwe-products, HyvinkäänKumiOy）を用いて製作した．ローラースキー板を用いたスキー反力の測定は，ストレインゲージ（N11-FA-5-1000-11, Showa Measuring

Instruments Co. Ltd., Japan) を左右のローラースキー板のフレームの前後に貼り付けた (図 3.4.1a) . ローラースキー板の長軸に対する圧力中心は, 前後の力から算出した. ローラースキー板にかかる力のみを測定することが, 本研究の測定限界であった. ローラースキー板の重量は 1.3 kg であり, フォースプレート (BP6001200, Advanced Mechanical Technology, Inc. USA) を用いて校正した. それぞれのセンサ信号は, データロガー (NR-600, Keyence Co. Ltd., Japan) に収集した. それぞれの被験者にデータロガーを装着したバックパック, ポールおよびスキーセンサのアンプ, アンプ用バッテリーを装着させた. バックパックの重量は 2 kg であった (図 3.4.1b) .

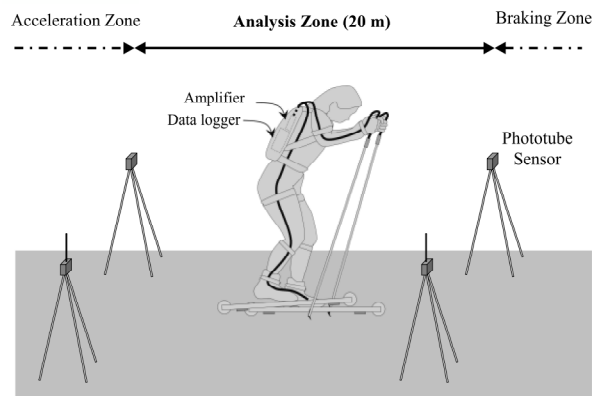


図 3.4.1b 実験のセットアップ

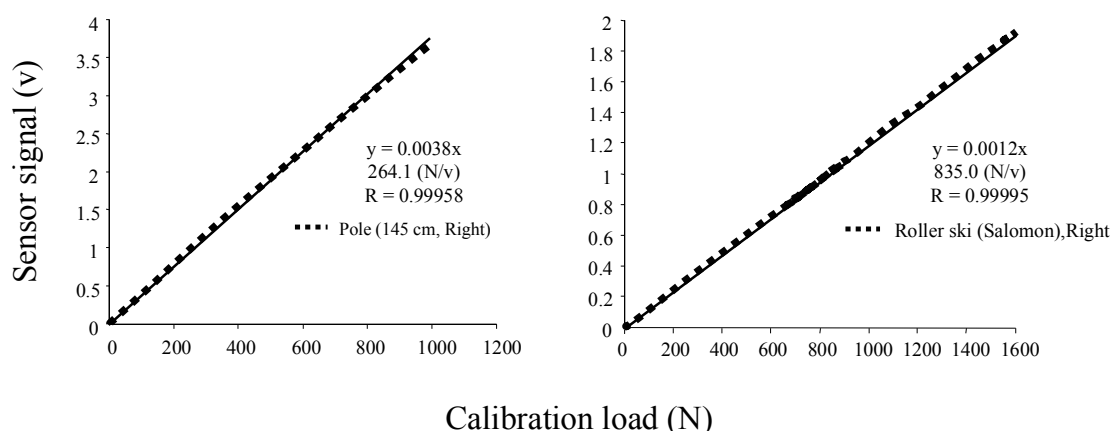


図 3.4.2 ポールセンサのキャリブレーション結果の例.

キャリブレーション結果は, 相関係数が, 0.999 以上であることが示された.

### 3) データ収集

測定は, 早稲田大学所沢キャンパス織田幹雄記念陸上競技場の外周における平坦な直線のアスファルト路上にて実施した. 50 m の加速区間を設けて, 20 m の測定区間に 2 台の光電管 (Wireless sprint system, Brower timing system, USA) を設置して, スケーティング時間を測定した. それぞれの被験者には, 3 種類の速度 (低速, 中速, 高速滑走) で滑走するよう指示した. 低速滑走は, 3.5 m/s に設定した. この速度は, 有酸素運動の速度と一致させ



た．中速滑走は、5.0 m/s とした．この速度は、5 km 滑走時の平均速度と一致させた．高速滑走は、最大努力とした．各試行の速度は、速度計測区間を被験者が通過した時間から求めた．目標とする速度から著しく速度が異なる場合には失敗試行とし、解析対象から除外した．被験者は 3 種類の異なる速度を明確に意識させて滑走させた．各試行は、5 分以上の休息を挟んで実施し、疲労による動作への影響を除去した．

#### 4) データ解析

ポールを用いた一連の動作は、反力がゼロの局面をスイング局面とし、ポール反力がゼロより高くなる局面をプッシュ局面として分類した．スキー板を用いた一連の動作は、グライド局面およびプッシュオフ局面に分類し、各曲面の反力を算出した (図 3.4.3) ．グライドおよびプッシュオフ局面は、二峰性のスキー反力の間の最小値を基準として分類した．グライド局面は地面にスキーが接地した地点を開始とし、最初の力曲線のピークが

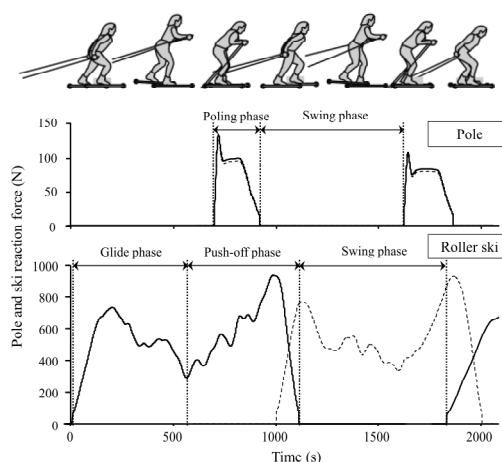


図 3.4.3 V2 スケーティング走法における  
各局面の定義

発生後、次のピークになる前のスキーの最小値を終了とした．プッシュオフ局面は、スキーの最小値を開始とし、スキー反力がゼロになる地点を終了とした．プッシュ局面、スイング局面、グライド局面およびプッシュオフ局面の所要時間を算出し、グライド局面とプッシュオフ局面の二つのピーク値は、それぞれの局面のピーク値として算出した．さらに、プッシュオフ局面のピーク値に対するプッシュ局面のピーク値の割合を算出した．

#### 5) 統計解析

速度、ピッチ、ストライド、プッシュ局面のポール反力のピーク値および平均値、グライド局面の力の最小値、グライド局面のポール反力およびプッシュオフ局面のスキー反力のピーク値および平均値、プッシュ時間、スイング時間、グライド時間およびプッシュオフ時間、プッシュオフ局面のピーク値に対するプッシュ局面のピーク値の割合を各試行から算出した．これらの変数は、平均±標準偏差で示した．これらの値は、反復測定の一元

配置分散分析を用いて試行間を比較した。F 値が有意であった場合には、Bonferroni の方法を用いて下位検定を行った。危険率は、それぞれ 0.05, 0.01, 0.001 を有意水準とした。

### 3. 結果

#### 1) キャリブレーション結果

ポールおよびローラースキーセンサのキャリブレーション結果の例を図 3.4.2 に示した。キャリブレーション結果の相関係数は、0.999 であった。この結果は、本研究で用いたポールおよびローラースキーセンサがポールとローラースキーの力の測定に十分な精度を有していることを示すものである。

#### 2) サイクル特性

サイクル特性とキネマティクスの結果は表 3.4.1 に示した。滑走速度は、低速、中速および高速滑走時では、それぞれ  $3.50 \pm 0.21$ ,  $5.09 \pm 0.24$ ,  $6.31 \pm 0.55$  m/s であった。低速、中速、および高速滑走時のピッチは、速度の増加に伴って有意に増加した。中速および高速滑走時のストライドは、低速滑走時と比較して有意に増加した。

**表 3.4.1 各試行におけるサイクル特性および上肢と下肢の局面時間と力**

	Low	Medium	High
Cycle characteristics			
Velocity (m/s)	$3.50 \pm 0.21$	$5.09 \pm 0.24$	$6.31 \pm 0.55$
Cycle rate (Hz)	$0.85 \pm 0.07$	$1.05 \pm 0.11^{aa}$	$1.29 \pm 0.12^{aaa, b}$
Cycle length (m)	$4.12 \pm 0.43$	$4.88 \pm 0.54^a$	$4.92 \pm 0.50^{aa}$
Upper body work			
Poling time (s)	$0.34 \pm 0.04$	$0.26 \pm 0.04^{aa}$	$0.22 \pm 0.02^{aaa, b}$
Swing time (s)	$0.84 \pm 0.08$	$0.70 \pm 0.07^{aa}$	$0.56 \pm 0.07^{aaa, b}$
Poling peak force (N)	$53.62 \pm 15.31$	$87.73 \pm 26.96^a$	$138.21 \pm 72.64^a$
Poling mean force (N)	$36.3 \pm 10.57$	$56.78 \pm 20.16^a$	$79.8 \pm 44.32^a$
Leg work			
Glide time (s)	$0.86 \pm 0.09$	$0.64 \pm 0.10^{aa}$	$0.50 \pm 0.06^{aaa, b}$
Glide peak force (N)	$680 \pm 40$	$695 \pm 44$	$743 \pm 41^a$
Glide mean force (N)	$531 \pm 34$	$503 \pm 32$	$466 \pm 41^a$
Push-off time (s)	$0.50 \pm 0.09$	$0.46 \pm 0.06$	$0.42 \pm 0.04$
Push-off peak force (N)	$699 \pm 36$	$863 \pm 53^{aaa}$	$991 \pm 77^{aaa, b}$
Push-off mean force (N)	$526 \pm 23$	$573 \pm 23^a$	$583 \pm 34^{aaa}$
Lowest force (N)	$480 \pm 41$	$393 \pm 59^{aa}$	$251 \pm 96^{a, b}$
Poling peak force per push-off peak force (%)	$7.7 \pm 2.1$	$10.1 \pm 3.0$	$13.7 \pm 6.1$

<sup>a</sup>Significant (P<0.05), <sup>aa</sup>high significant (P<0.01) and <sup>aaa</sup>highly significant (P<0.001) different to low speed.

<sup>b</sup>Significant (P<0.05 different to medium speed.

### 3) 上肢の運動

低速, 中速および高速滑走時のポールおよびスキー反力の例は図3.4.4に示した. 低速, 中速および高速滑走時のプッシュ時間は, 速度の増加に伴って有意に減少した. 中速および高速滑走時のポール反力のピーク値および平均値は, 低速滑走時と比較して有意差が認められた.

### 4) 下肢の運動

スキー反力は, 速度の増加に伴って変化した (図 3.4.4). 低速, 中速, および高速滑走中のグライド時間は, 速度の増加に伴って有意に増加した. 高速滑走時のグライド局面のスキー反力のピーク値および平均値は, 低速滑走時と比較して有意差が認められた ( $P < 0.05$ ). 低速, 中速および高速滑走時のプッシュオフ局面のスキー反力のピーク値は, 速度の増加に伴って有意に増加した. 中速および高速滑走時のプッシュオフ局面のスキー反力の平均値は, 低速滑走時と比較して有意差が認められた. 低速, 中速および高速滑走時の力の最小値は, 速度の増加に伴って有意に減少した. プッシュオフ局面のスキー反力のピーク値に対するプッシュ局面のポール反力のピーク値の割合には, 試行間に有意差はみられなかった.

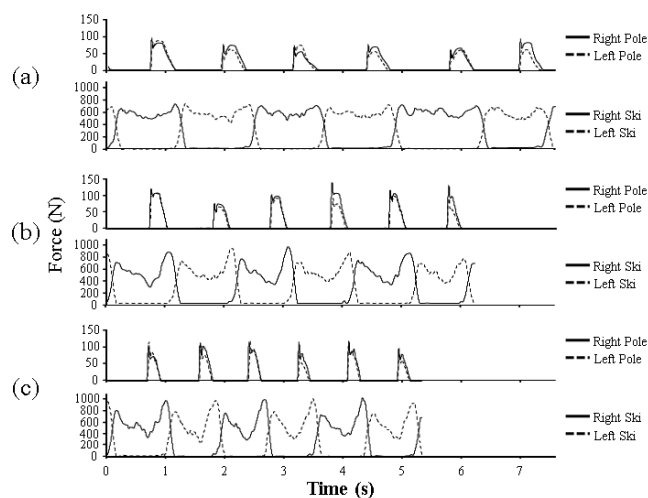


図 3.4.4 異なる速度における V2 スケーティング中のポールおよびスキー反力

## 4. 考察

本研究では, 女子選手を対象としてどのような方策で高速度の滑走がなされているかという点について, V2 スケーティング走法中のサイクル特性と, ポールおよびスキー反力の観点から明らかにした. クロスカントリースキー競技においては, 滑走速度が, 5 m/s 程度の

中速度域まではストライドとピッチを増加させること、5 m/s 以上の高速度域ではピッチを増加させることによって獲得されていることが報告されている (Millet et al., 1998b; Stöggel and Müller, 2009) . 本研究でも、ストライドが中速滑走時まで、ピッチが高速滑走時まで、速度の増加に伴って増加した。この結果は、女子選手においても、ストライドとピッチからみた速度獲得の過程が男子選手と同様であることを示唆するものである。

V2 スケーティング走法中のスキー反力の波形は、一般的に二峰性の特徴を持っている (Smith, 1992; Stöggel et al., 2008; 2010) . 二峰性の力波形は、グライド局面における身体質量中心の上昇と、ポーリングの準備とそれに続くプッシュオフ前の身体質量中心の下降によってできる。滑走速度の増加とともに、一連の動きがより素早くなり、グライド局面とプッシュオフ局面の間の抜重が顕著に表れる。本研究においても同様の現象が確認され、これらの先行研究の結果を支持するものとなった (図 3.4.4) . 一方で先行研究 (Stöggel et al., 2008) とは異なる結果が得られた。Stöggel et al., 2008 は高速滑走時において抜重がさらに顕著となり最小力がゼロに至る現象 (スキー板が雪面から浮くフライト局面) がみられることを明らかにしたが、本研究では最大滑走速度時においてもフライト局面は観察されなかった。スキー反力は身体質量中心の加速度を反映していることから、最高速度の差 (Stöggel:  $7.35 \pm 0.60$  m/s vs. 本研究:  $6.31 \pm 0.55$  m/s) に起因するものと考えられる。両研究の約 14 % の速度差が主にピッチの差に起因するものであると仮定すると、発揮パワーの差は約 15 % と見積もられる (Millet et al. (1998b) および Stöggel and Müller (2009) の研究より、高速度領域ではストライドに差はなく、ピッチのみに速度間で差がみられるため妥当な仮定であると考えられる) . Haymas et al. (1980) の報告したクロスカンリースキー選手の大腿四頭筋のパワーの性差は 18.4 % であり、その値に類似するものである。つまり、被験者の性差に起因する発揮パワーの差および滑走速度の差が、フライト局面の有無の差を生じた原因であることが示唆される。

Stöggel et al. (2008) は、高速度の V2 スケーティング走法ではフライト局面が存在することを報告している。対照的に本研究では、力の最小値は速度の増加に伴って減少したものの、フライト局面は存在しなかった。しかしながら、フライト局面の発生を伴わない速度領域では最小値が減少して、プッシュオフ時の力が増加するなど、男子選手と同じ変化を示した。この結果は、男女において基本的技術は類似していることを示唆するものである。このことより、女子選手がフライト局面を伴うような速度域で滑走するためには、男子に類する身体能力 (筋パワー) や滑走技術を獲得することが重要であると考えられる。

V2 スケーティング走法中のポーリング時間およびスイング時間が滑走速度の増加によって減少し、ボールのピーク値および平均値は増加した (低速 vs. 中速,  $p < 0.05$ ) ; 中速 vs. 高速,  $p = 0.079$ ) . 男子選手の V2 スケーティング走法中においても同様の結果が報告されている (Millet et al., 1998b) . Millet et al. は, 3.6 m/s から 6.2 m/s までの滑走速度の増加に伴い, ポーリング時間およびスイング時間が有意に減少し, ボールのピーク値および平均値が有意に増加することを明らかにした. これらの結果より, 滑走速度の増加に伴う, プッシュ動作の変化に男女差はないことが示唆される.

一方, 本研究の結果はボールのピーク値およびボールとスキーの反力の比率の点で, 男子選手を用いた研究結果と相違があった. 本研究では, ボールのピーク値が, 高速滑走時 (6.3 m/s) に約 22 %BW であった. Millet et al. (1998b) は, ローラースキーによる V2 スケーティング走法中の 9 名の男子一流クロスカンリースキー選手のボールのピーク値について, 6.2 m/s 時に 31.5 %BW であったことを報告した. 滑走速度が同等であったにも関わらず, Millet et al.の結果と比較して低いものであった. この結果は, 上肢の貢献度が男子選手に比較して女子選手で低いことを示すものである. また, 力の比率 (ボールのピーク力/スキーのピーク力) でみた場合も, 男子選手で約 19% (8.3 m/s, Stöggl et al, 2010) , 女子選手で約 14% (6.3 m/s, 本研究) と女子選手で低い傾向にある. 一般的に, 女子選手の筋量, 筋力, 筋パワーは, 男子に比べて低く, 特に, 下肢よりも上肢において低い (Haymas et al., 1980; Gaskill et al., 1999) . つまり, 性差による身体能力の差がボールの貢献度合いに影響を与えたことが示唆される. これらのことより, 上肢の使い方において男女差があると考えられる.

本研究によって, 女子選手は男子選手と類似したストラテジーで速度を獲得していることが示唆された. また, フライト局面の有無, ボール反力のピーク値, スキー反力とボール反力の比率に性差による違いがみられたが, これらの差は身体能力の違いに起因することが示唆された. 今後のパフォーマンス向上の方向性としては, 第一にパワー比率の高い下肢の筋パワーの向上, 次に上肢の筋パワーの向上が重要であると考えられる.

## 第5節 フライト局面を発生させた V2 スケーティング走法の効果の検証

### 1. 目的

本研究の目的は、高速の V2 スケーティング走法中にフライト局面を発生させていない女子選手を対象に、フライト局面を意図的に発生させる指導を実施することで、競技パフォーマンスに及ぼす変化を明らかにすることとした。

### 2. 方法

#### 1) 被験者

被験者は、7名の国内主要競技会で入賞経験を持つ女子クロスカントリースキー選手（年齢:  $20 \pm 1$  歳, 身長:  $160.1 \pm 5.4$  cm, 身体質量:  $54.2 \pm 5.3$  kg）とした。事前に各被験者に本研究の趣旨を伝え、インフォームドコンセントを得た。なお、本研究は早稲田大学倫理審査委員会の承認を得た。

#### 2) ポールおよびスキーセンサ

全被験者は、140 cm もしくは 145 cm の競技用ポール (Yoko Platinum PG, Karhu Sporting Goods Oy, Finland) を使用した。左右のポールには、ポールの長軸に対する力を測定できるよう設計した 112 g の特製センサを装着した。それぞれの被験者のポールの長さは、被験者らが競技で用いているポールの長さと同じくするように準備させた。それぞれのセンサは、第2章第2節の方法と同様に、ロードセル (LUR-A-1KNSA1, Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd., Japan) とプレス機 (Yuatsu Power R-1, Riken Seiki Co. Ltd., Japan) を用いて校正した (図 3.4.2)。また、実験にはスキー反力を計測できるよう製作した競技用ローラースキー板 (610A, Marwe-products Hyvinkään Kumi Oy, Finland) を用いた。ローラースキー板によるスキー反力の測定は、ストレインゲージ (N11-FA-5-1000-11, Showa Measuring Instruments Co. Ltd., Japan) を左右のローラースキー板のフレームの前後に貼り付けた。ローラースキー板の重量は片側 1.3 kg であった。フォースプレート (BP6001200, Advanced Mechanical Technology, Inc. USA) 上にローラースキー板を固定し、上方向から加重した際のフォースプレートの鉛直方向の力とローラースキー板の電圧の変化をデータロガー (NR-600, Keyence Co. Ltd., Japan) で記録し、直線回帰式を用いて校正した。実験中のそれぞれのセンサ信号は、データロガーに収集した。それぞれの被験者にデータロガーを装着したバ

ックパック、ポールおよびスキーセンサのアンプ、アンプ用バッテリーを装着させた。バックパックの重量は2 kgであった。

### 3) データ収集

実験は、早稲田大学所沢キャンパス内織田幹雄記念陸上競技場外周の平坦なアスファルト路上にて実施した。50mの加速区間を設けて、20mの測定区間に2台の光電管 (Wireless sprint system, Brower timing system, USA) を設置して、所要時間を測定した。それぞれの被験者には、まず、最大努力の滑走試技 (以下、Normal 試技) を3-5回行わせた。力データを確認した結果、2名の被験者にフライト局面がみられたため、研究対象から除外し、5名を対象とした。対象となった被験者には、フライト局面を発生させるために、スキー接地後にすぐジャンプを行うよう指示し、5-10分程度自由に滑走させた。その際、ジャンプの着地と同時にポールのプッシュ動作を開始すること、ジャンプを意識しすぎて速度を低下させないことを指示した。その後、フライト局面を発生させた状態で最大努力の滑走試技 (以下、Flight 試技) を3-5回行わせた。各試行は、5分以上の休息を挟んで実施し、疲労による動作への影響を除去した。実験後、各被験者に Flight 試技の実施に対しての内省を得た。

### 4) データ解析

ポールを用いた一連の動作はポール反力によって、プッシュ局面とスイング局面に分類した。また、スキー板を用いた一連の動作は、スキー反力によって、グライド、フライトおよびプッシュオフ局面に分類した。プッシュ局面は、ポールが地面に接地した時点を開始とし、離地までの間とした。グライド局面は、地面にスキーが接地した時点を開始とし、Normal 試技では最初の力曲線のピークが発生後、次のピークになる前のスキーの最小値を終了時点、Flight 試技ではフライト局面の発生により反力がゼロになった時点を終了時点とした。プッシュオフ局面は、Normal 試技ではスキーの反力が最小値を示した時点を開始とし、Flight 試技ではフライト局面終了時を開始として、2つ目の力曲線のピークが発生後、スキー反力がゼロになる時点を終了とした。

### 5) 統計解析

両試技の滑走速度、ピッチ、ストライド、プッシュ局面のポール反力のピーク値および平均値、グライドおよびプッシュオフ局面のスキー反力のピーク値および平均値、ポールのプッシュ時間とスキーのグライド時間、フライト時間 (Flight 試技のみ) およびプッシュオフ時間を各試行から算出した。これらの値は、平均 $\pm$ 標準偏差で示し、スチューデントの T 検定を用いて試行間を比較した。危険率は、0.05 未満を有意水準とし、0.1 未満を有意傾向とした。

### 3. 結果

両試技の滑走速度、ストライド、ピッチ、プッシュ時間、グライド時間およびプッシュオフ時間、プッシュ局面のポール反力およびプッシュオフ局面のスキー反力のピーク値と平均値、Flight 試技のフライト時間を表 3.5.1 に示した。Flight 試技の滑走速度は、Normal 試技と比較して有意に高値を示した。また、Flight 試技では Normal 試技と比較して、ピッチが有意に増加し、グライド時間、プッシュオフ時間が有意に減少し、ストライドが減少する傾向を示した。さらに、Flight 試技では Normal 試技と比較して、プッシュ局面のポール反力のピーク値および平均値、プッシュオフ局面のスキー反力のピーク値および平均値が有意に増加した。

**図 3.5.1** 各試行におけるサイクル特性とポールおよびスキー反力

	Normal	Flight	<i>P-value</i>
Velocity (m/s)	5.95 $\pm$ 0.22	6.3 $\pm$ 0.18	0.001
Stride (m)	4.46 $\pm$ 0.16	4.23 $\pm$ 0.15	0.073
Pitch (Hz)	1.34 $\pm$ 0.09	1.49 $\pm$ 0.06	0.009
poling time (s)	0.22 $\pm$ 0.02	0.21 $\pm$ 0.02	0.188
glide time (s)	0.45 $\pm$ 0.07	0.3 $\pm$ 0.01	0.006
flight time (s)	—	0.14 $\pm$ 0.01	
push off time (s)	0.42 $\pm$ 0.05	0.35 $\pm$ 0.04	0.041
poling peak force (s)	111 $\pm$ 8	141 $\pm$ 12	0.002
poling mean force (s)	75 $\pm$ 10	87 $\pm$ 9	0.022
push off peak force (s)	920 $\pm$ 164	979 $\pm$ 159	< 0.001
push off mean force (s)	506 $\pm$ 69	600 $\pm$ 62	< 0.001

N = 5. All value shows mean  $\pm$  SD.



Flight 試技の実施後、各被験者から得た内省をまとめると、3 名が地面から浮き上がることに對して恐怖感があると回答し、4 名がバランスを崩しそうな感覚があると回答した。

#### 4. 考察

本研究では、最大努力の V2 スケーティング走法時にフライト局面を発生させていない被験者を対象に、フライト局面を発生させた動作を 10 分程度トレーニングさせ、再度滑走させた。その結果、滑走中にフライト局面が発生し、滑走速度が有意に増加した。Flight 試技においては、フライト局面の発生によって、1 サイクル中に平均で 0.14 s のフライト時間が加わったが、グライド時間、プッシュオフ時間がそれぞれ 0.15 s, 0.07 s 減少したことによってピッチが増加したことが示された。一方、ストライドは減少傾向にあるものの、ピッチの増加がストライドの減少を補っているために滑走速度が増加したことが示された。Millet et al. (1998) , Stöggl et al. (2010) は、V2 スケーティング走法において、滑走速度の増加に伴い、ストライドが維持もしくは減少傾向にあること、ピッチが増加することを示しており、この結果は本研究の結果と一致している。つまり、フライト局面を発生させた滑走動作は、滑走速度を増加させる手段として妥当な方法であったといえる。

フライト局面を発生させた V2 スケーティング走法中のスキー反力は、フライト局面を発生させていない動作と比較して有意に高値を示した。Stöggl and Müller (2009) は、V2 スケーティング走法では、滑走速度の増加に伴い、スキー反力の鉛直方向の成分が増加したことを示した。つまり、本研究においてスキー反力が増加したことは、滑走速度を増加させた要因として妥当な結果であるといえる。また、第 3 章第 3 節では V2 スケーティング走法において滑走速度の増加

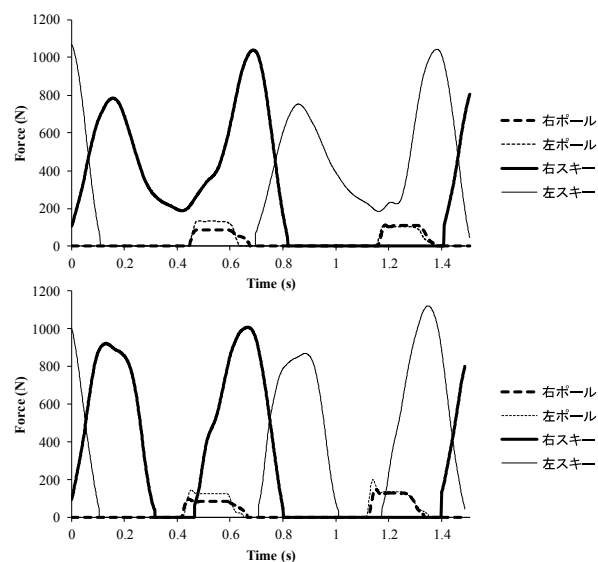


図 3.5.1 V2 スケーティング走法中のポールおよびスキー反力の例。通常滑走時（上段）、フライト局面発生時（下段）。

に伴いフライト局面が発生することが示された．本研究においてフライト局面が発生させた滑走動作によって，プッシュオフ時間が減少し，大きな力が発揮されたことが滑走速度の増加を促す結果になったものと考えられる．したがって **Flight** 試技では，フライト局面の発生によって短時間での大きな力，すなわちパワーを発揮させるのに適した動作へと変化したといえる．

フライト局面が発生させた **V2** スケーティング走法中のポール反力は，フライト局面が発生させていない動作と比較して有意に高値を示した．**Flight** 試技中の力の様相 (Figure 3.5.1) をみると，フライト局面終盤にプッシュ局面が開始されていることがわかる．つまり，**Normal** 試技においては，片方のスキー板に身体質量がかかっている状態でプッシュ局面が開始されているのに対し，**Flight** 試技においては，**Normal** 試技でスキーにかけていた身体質量がポールにかかっているといえる．**Normal** 試技でスキーにかけていた力は，進行方向への力となるようなものではないが，ポールにかけることで進行方向の力となり，加速に有利に働いたことが考えられる．Millet et al. (1998) は，**V2** スケーティング走法中においては，滑走速度の増加に伴い，ポール反力が増加することを示している．つまり，フライト局面を伴う滑走動作は，ポール反力を高める上でも効果的であるといえる．

本研究では，7名の被験者のうち2名が**Normal** 試技においてもフライト局面が発生させた滑走動作を行っていた．それぞれの滑走速度は，7.48 m/s および 6.87 m/s であり，他の5名の被験者と比較して高値であった．この2名の被験者は，全日本スキー選手権スプリント種目での入賞経験を持っており，高い競技パフォーマンスを有しているといえる．したがって，国内の女子一流スプリント選手は，フライト局面が発生させた **V2** スケーティング走法を行うことで高い滑走速度を獲得していることが示唆された．Fujita et al. (2010) および Stöggli et al. (2008, 2010) は，男子クロスカントリースキー選手が最大努力の **V2** スケーティング走法時に滑走速度の増加に伴い，スキー反力が増加することおよびフライト局面が発生していることを示した．つまり，男子選手においては，**V2** スケーティング走法の技術トレーニングの過程で，フライト局面が発生するような大きな力発揮を伴う滑走技術を習得していることが予想される．一方，女子選手では，技術トレーニングの過程でフライト局面が発生するほど大きな力発揮を伴う滑走技術を習得することはあまりないといえる．本研究では，フライト局面が発生させるよう指示した後，約10分程度のトレーニングを行わせた結果，被験者全員にフライト局面を伴う滑走動作がみられた．しかしながら，**Flight** 試技を指示する前にはフライト局面がみられなかったことから，滑走中のフライト

局面の発生を抑制する制限因子があることが示唆される。Flight 試技に対する内省を得た結果、3 名が地面から浮き上がることに對して恐怖感があると回答した。つまり、全身が地面から浮くフライト局面の発生に必要な体力を有しているにもかかわらず、恐怖感をもっていることが技術的な制限因子のひとつとなっていることが考えられる。この制限因子を解消するためには、フライト局面を安定して実施できる技術を身につけることが重要であることが考えられる。

本研究によって、フライト局面を発生させていない女子選手を対象にフライト局面を伴う滑走動作を実施させることは、短時間で競技パフォーマンスを向上させる優れた方法であることが示された。一方で、各被験者にフライト局面を発生させた滑走を行わせた結果、4 名がバランスを崩しそうな感覚があると回答した。本研究においては、測定区間が 20 m と短距離であったために大きなバランスの崩れや転倒はみられなかった。しかし実際の競技においては、距離の短いスプリント競技でも約 1 km の距離を滑走する必要がある。その際、フライト局面を伴う大きな力を発揮する V2 スケーティング走法を長時間にわたって行うことは、身体により多くの負荷をかけることとなる。高い体力と滑走技術を有する一流男子選手においても、スプリント競技の全区間でフライト局面を伴う V2 スケーティング走法の実施はされておらず、駆け引きやラストスパートで用いられるのが一般的である。これは、選手がレースストラテジーを想定して、効率よく、且つ、高い滑走速度を獲得するために最適な滑走技術を選択しているためであり、滑走速度の獲得を優先する状況でフライト局面を伴う V2 スケーティング走法を実施しているといえる。女子選手においても、十分な技術トレーニングを積んだうえで、高い滑走速度を獲得しなければならない状況でこの滑走技術を用いることが望ましいと考えられる。

## 第4章 滑走中の疲労に関するバイオメカニクス

### 第1節 クロスカントリースキー競技における疲労

クロスカントリースキー競技では、スプリント種目が1996-97年シーズンから国際スキー連盟公認ワールドカップの正式種目として採用された。2010-11年シーズンでは、ワールドカップ全40試合のうち14試合でスプリント種目が開催されている。スプリント種目は、800-1300mのコースを用いて所要時間を競う種目であり、予選の上位30名によって、準々決勝、準決勝、決勝がトーナメント形式で行われる。同種目において選手は、ダブルポーリング走法を用いることが多いことから、この動作がスプリント種目に有利な動作特性を有していることが予想される。ダブルポーリング走法は、左右対称でかつ同時にボールのプッシュ動作を行うことで推進力を得る動作 (Bilodeau et al., 1996) である。この走法は、スタート時に高い速度を獲得できる (第2章第2節) ほか、勝敗を決するフィニッシュ直前のラストスパートでよく用いられており (Zory et al., 2009)、これまでにキネマティクスおよびキネティクスの研究がなされてきた。Smith et al. (1996) は、30km クラシカル種目におけるダブルポーリング走法中のレース所要時間と滑走速度、進行方向に対するボールの接地角度 (以下、ポーリング角度とする)、肘関節最大および最小角度との間に正の相関がみられたこと、および滑走速度とストライドとの間に正の相関がみられたことを示しており、肘関節の動作域を大きくさせたダブルポーリング走法が滑走速度の獲得に有効であることを示唆している。また Lindinger et al. (2009) は、9, 15, 21, 27 km/h および最大努力速度におけるダブルポーリング走法中のキネマティクスおよびキネティクスを測定し、速度の増加に伴って、ピッチ、ボールのプッシュ時間、リカバリ時間、ボール反力のピーク到達時間が減少し、ストライド、ボールの反力のピーク値が増加したことを示し、プッシュ局面で肘、股、膝関節を屈曲させること、およびリカバリ局面でそれらを伸展させることが重要であることを示唆している。これらの研究知見より、ダブルポーリング走法では、ストライドおよびピッチを高めるために、肘関節角度およびポーリング角度を減少させて短いプッシュ時間でボール反力を増加させること、体幹と下肢の動作を大きくして上肢だけでなく体全体を使うことが重要な技術であることが明らかとなっている。

一方、スプリント種目に着目した研究もみられる。Zory et al. (2009) は、1200 m のコースを用いて、被験者にスプリント種目を想定した最大努力の試技を12分間の休息を挟んで3回実施させ、滑走中のキネマティクスパラメータを比較した。その結果、疲労の影響に

よってプッシュ局面の股関節，体幹，ポーリング角度が増加し，股関節平均角速度が減少すること，スイング局面前半の肘角度，リカバリ局面後半の股関節および体幹角度が減少することを示した．また Zory et al. (2010) は，上記と同様のプロトコルを用いて，滑走中の筋放電量およびパターンを比較し，選手が疲労の影響によって上腕二頭筋の筋活動パターンを変化させて推進力を獲得していることを示した．つまり，スプリント種目においても，上肢および下肢の動きが重要であり，疲労の影響によってそれらの動きが制約されることで滑走速度の低下を招くことが示唆される．しかしながら，これらの研究の対象は，繰り返した試行ごとの疲労の影響を明らかにしたものであり，一試行内における疲労の影響については明らかにしていない．実際のスプリント種目では，選手は高い滑走速度を維持するために最大努力で滑走を行うため，一試行内の動作においても疲労による影響を受けることが予想される．特に競技の後半は，勝敗を左右する重要な局面であり，動作がどのように変化するかを明らかにすることは，スプリント種目のパフォーマンスを向上させる上で重要であると考えられる．

## 第2節 疲労の影響によるバイオメカニクスの変化

### 1. 目的

本研究の目的は、スプリント種目を対象として、ダブルポーリング走法の疲労の影響によるバイオメカニクスの変化を明らかにし、パフォーマンス向上のための示唆を得ることとした。

### 2. 方法

#### 1) 被験者および実験環境

被験者は、日本国内における主要な競技会において入賞経験をもつ、5名の日本代表を含む大学生クロスカントリースキー選手（年齢： $20.2 \pm 0.8$  歳，身長： $174.4 \pm 5.5$  cm，身体質量： $71.9 \pm 3.1$  kg）であった。実験は、北海道旭川市の富沢クロスカントリースキーコースの会場近辺の平地の周回コース（一周 320 m，図 4.2.1）で行った。実験時の天候は晴れ，気温および雪温が摂氏-2 度，雪質は新雪と旧雪が混ざった雪質であった。実験試技は，最大努力によるダブルポーリング走法を3分間行わせた。試技の実施に当たり，全被験者に

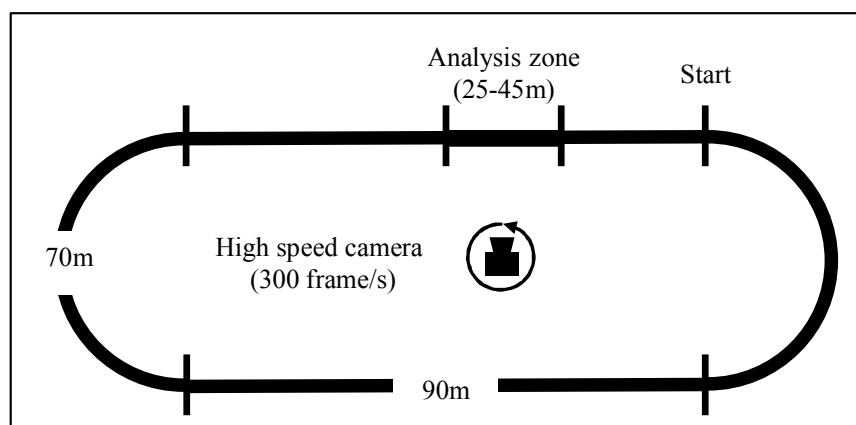


図 4.2.1 実験のセットアップ

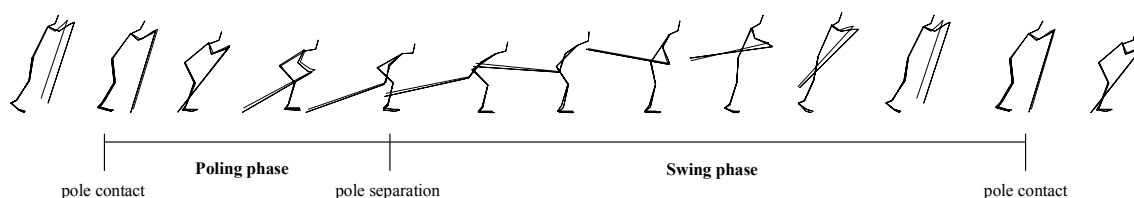


図 4.2.2 プッシュ局面およびスイング局面の定義

3 分間の滑走後に疲労困憊になるのではなく，スタート直後から最高速度による滑走を行うように指示した．ポールの接地から離地をプッシュ局面，離地から次の接地をスイング局面とし，1 サイクルを分析対象とした (図 4.2.2)．比較の対象は，Vesterinen et al. (2009) の報告に基づき，平地のみの 850 m の最大努力による滑走時に，滑走速度が有意に変化した地点とほぼ同地点の 1 周目の 30 m 付近 (以下，Lap1) および 3 周目の 670 m 付近 (以下，Lap3) とした．各被験者に本研究の目的と実験方法を説明した上で，実験のインフォームドコンセントを得た．実験に先立って，東京大学倫理審査委員会の承認を受けた．

## 2) 動作の計測

滑走試技は，ハイスピードカメラ (EX-F1, Casio) を用いて左側方 40m の地点からパンニング撮影した．得られた映像を PC に取り込み，動作解析ソフトウェア (Frame-dias IV, DKH) を用いて，身体各分析点 (23 点) および両ポールの先端 (2 点) の計 25 点をデジタイズした (図 4.2.3)．デジタイズされた座標値を 2 次元 DLT (Direct Linear Transformation) 法により実長換算し，2 次元座標値を求めた．算出された 2 次元座標値は，バターワースデジタルフィルタによって最適遮断周波数 4-14Hz で平滑化した．

平滑化後の座標値より，阿江ら (1996) の身体部分慣性係数を用いて身体質量中

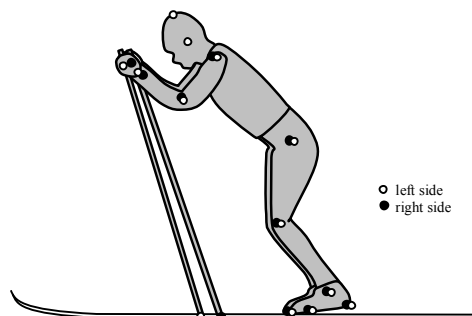


図 4.2.3 デジタイズ処理に用いた身体 23 点 およびポール 2 点.

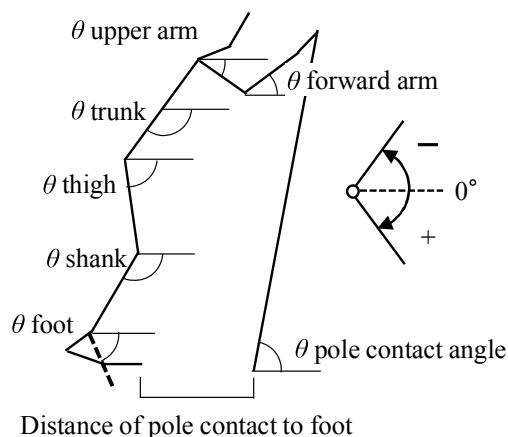


図 4.2.4 各セグメント角度およびポールとつま先の距離の定義

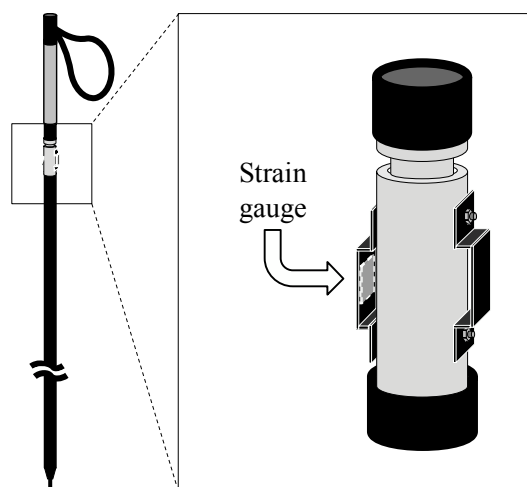


図 4.2.5 ポールセンサの概略図

心座標を求めた。1 サイクルの身体質量中心速度、ストライド、ピッチ、プッシュ時間およびスイング時間といったサイクル特性、ボールの接地角度およびボールの接地位置を求めた。また、算出された1サイクルの2次元座標値は、1サイクルを100 %として時間で規格化し、足部、下腿、大腿、前腕、上腕および体幹セグメント角度を算出した (図 4.2.4)。

### 3) ボール反力の計測

ボール反力の計測は、ストレーンゲージを用いたセンサを作成し、ボールのグリップ下部に取り付けて (図 4.2.5)、ストレーンゲージの歪みによる電圧の変化をデータロガー (NR-600, Keyence) に取り込んだ。Lap1 および Lap3 のボール反力を計測し、ポーリング角度を用いて鉛直方向と進行方向の成分に分力し、力積、ピーク値および平均値、ボール接地からピークまでの所要時間を算出した。なお、データロガーに収集した電圧は、PCに取り込み、ロードセル (LUR-A-1KNSA1, Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd., Japan) とプレス機 (Yuatsu Power R-1, Riken Seiki Co. Ltd., Japan) を用いて校正した値を用いて力へと変換した (図 3.2.2)。なお、動作データと力データの同期は、データロガーの収集開始に合わせて LED を発光させ、それをハイスピードカメラに写しこませて処理した。

### 4) 統計処理

Lap1 および Lap3 における滑走パラメータ (滑走速度、ストライド、ピッチ、プッシュ時間、スイング時間)、キネマティクス (ポーリング角度、ボールの接地位置) およびキネティクス (ボール反力の進行方向および鉛直方向の力積、ピーク値、平均値) の比較には、スチューデントのT検定を用いた。また、Lap1 および Lap3 における1サイクル中 (0-100%) の各関節角度の比較には、反復測定2要因分散分析 (Lap $\times$ 10 %毎の時間) を用い、交互作用がみられた場合には Bonferroni の方法を用いて多重比較検定を行った。なお、危険率は5 %未満を有意とし、10 %未満を有意傾向とした。

## 3. 結果

表 4.2.1 は、Lap1 および Lap3 における1サイクル中の滑走速度、ストライド、ピッチ、ポーリングおよびスイング局面のストライドおよび局面時間、接地時のボールとつま先の距離、接地時のボール角度、プッシュ局面のボール反力の進行方向および鉛直方向の力のピーク値、平均値および力積を示したものである。比較の結果、サイクル特性では、滑走





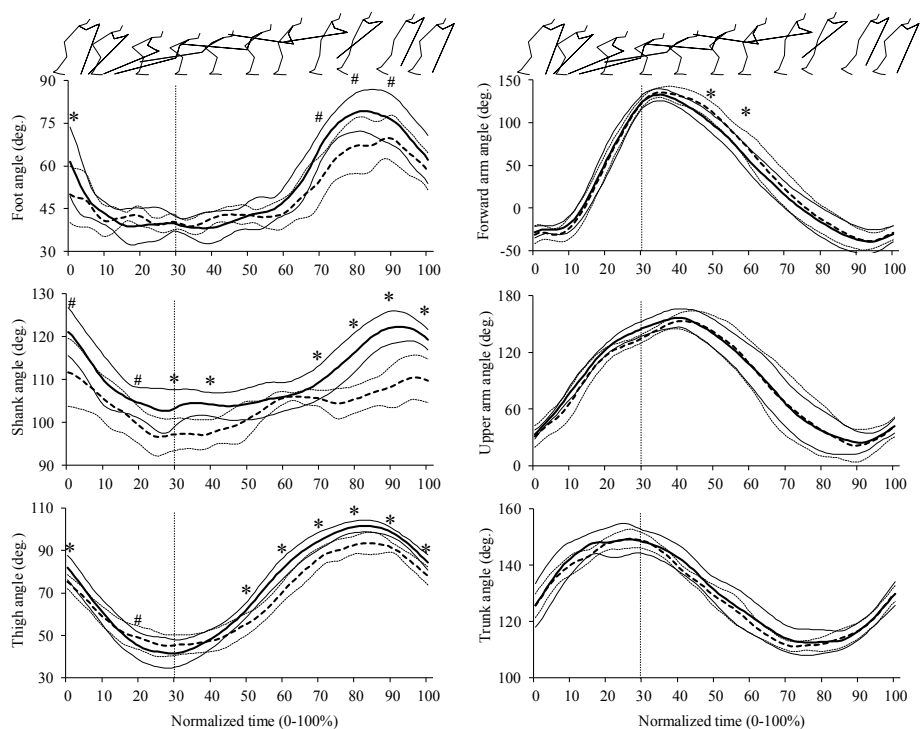


図 4.2.6 ダブルポーリング走法中の Lap1(太線)および Lap3(点線)における各セグメント角度。全被験者の値は平均値±標準偏差で示した。\*:  $p < 0.05$ , #:  $p < 0.1$ .

表 4.2.2 ダブルポーリング走法中のセグメント平均角速度

Variables	Lap 1	Lap 3	P-value
Poling phase			
Foot A.V. (deg./s)	-80.6±37.9	-33.0±24.6	< 0.01
Shank A.V. (deg./s)	-60.8±12.2	-45.9±18.3	0.28
Thigh A.V. (deg./s)	-142.3±7.9	-96.3±24.7	< 0.01
Forward arm A.V. (deg./s)	540.3±62.5	500.9±74.2	0.02
Upper arm A.V. (deg./s)	398.2±52.0	334.5±30.2	0.01
Trunk A.V. (deg./s)	80±23.1	73.4±15.7	0.33
Swing phase			
Foot A.V. (deg./s)	40.7±16.8	26.2±10.7	0.19
Shank A.V. (deg./s)	29.4±10.3	18.8±4.0	0.14
Thigh A.V. (deg./s)	78.8±16.5	48.2±10.8	0.02
Forward arm A.V. (deg./s)	-283.2±23.4	-227.5±18.8	< 0.01
Upper arm A.V. (deg./s)	-187.9±21.1	-138.3±8.5	0.01
Trunk A.V. (deg./s)	-33.2±11.4	-27.5±3.9	0.37

All values shows mean ± standard deviation. N = 5.  
A.V.: angular velocity.

表 4.2.2 は, Lap1 および Lap3 におけるダブルポーリング走法中の足部, 下腿, 大腿, 前腕, 上腕および体幹セグメントの平均角速度を示したものである. プッシュ局面では, 足部, 大腿, 前腕および上腕セグメントの各角速度が Lap1 に比べ Lap3 で有意に減少した. また, スイング局面では, 大腿, 前腕および上腕のセグメント角速度が Lap1 に比べ Lap3 で有意に減少した.

#### 4. 考察

本研究では, 被験者にスタート直後から最高速度による試技を実施させたが, 時間の経過に伴って滑走速度が有意に低下した. この結果は, Lap1 と 3 との間で疲労が生じていることを示すものである. つまり, Lap1 と 3 との間で生じているキネマティクスおよびキネティクスの差を疲労に伴う変化と考えることは妥当であるといえる.

##### 1) サイクル特性

ダブルポーリング走法のサイクル特性については, 滑走速度の増加に伴ってピッチが増加し, ストライド, プッシュ時間およびスイング時間が減少するという報告 (Stöggl et al. 2010) や, ストライドが変化しないという報告 (Stöggl and Müller, 2009) がある. 本研究においては, Lap1 から Lap3 へと時間の経過に伴って滑走速度およびピッチが有意に低下し, ポーリング時間およびスイング時間が増加した. また, 1 サイクル中およびプッシュ局面のストライドには変化がみられなかったものの, スイング局面のストライドが有意に増加した. つまり, プッシュ局面においては, ピッチが減少したことで滑走速度が減少したといえる. また, スイング局面においては, ストライドが増加したものの, ピッチが減少した. この局面は, 加速に有効な推進力を得られる局面ではないことから, 雪面の摩擦を受けながら滑走する距離が伸びているだけである. つまり, スイング局面においても, 滑走速度の増加はなされていないといえる. これらの結果をまとめると, スプリント種目においては, 疲労の影響によって, ピッチが減少することで滑走速度が低下するといえる.

表 4.2.1 より, プッシュ時間が時間の経過に伴って平均で 11 %増加しているのに対し, プッシュ時間の約 2 倍の局面時間を要するスイング時間が平均で 23 %増加していることがわかる. つまり, ピッチの減少分の約 80 %がスイング局面における速度の低下であり, 残りの約 20 %がプッシュ局面における速度の低下によって起きている. この結果より, ピッチの減少に影響を及ぼす主要因はスイング局面時間の増加であるといえる.

## 2) 下肢の動作

図 4.2.7 は, Lap1 および 3 における, それぞれの平均動作パターンをスティックピクチャで表したものである. ポール接地時 (0 %地点) においては, Lap3 で下肢がより直立位に変化したことがわかる. その後, プッシュ局面においては, 下腿セグメント角度, 足部および大腿セグメント角速度が減少し, 大腿セグメント角度が増加した. これらの結果は, 下肢の動作域が小さくなったこと, 加えて下肢を屈曲する動作が遅くなったことを示すものである. さらに下腿セグメント角度が減少したことで, 腰部が後方に引けた姿勢へと変化した (30 %地点). スイング局面 (30-100 %地点) では, 足部, 下腿および大腿セグメント角度と大腿セグメント角速度が減少した. これらの結果は, スイング局面において下肢の可動域が減少し, 下肢を前方へと伸展する動作が遅くなったことを示すものである. この変化はプッシュ局面およびスイング局面の両方で共通する変化である. これらの結果をまとめると, Lap3 では疲労の影響によって, 動作速度が低下したこと, 下肢の動きが小さくなったこと, さらに, 腰部が後方へと引けた状態に変化したことがわかる.

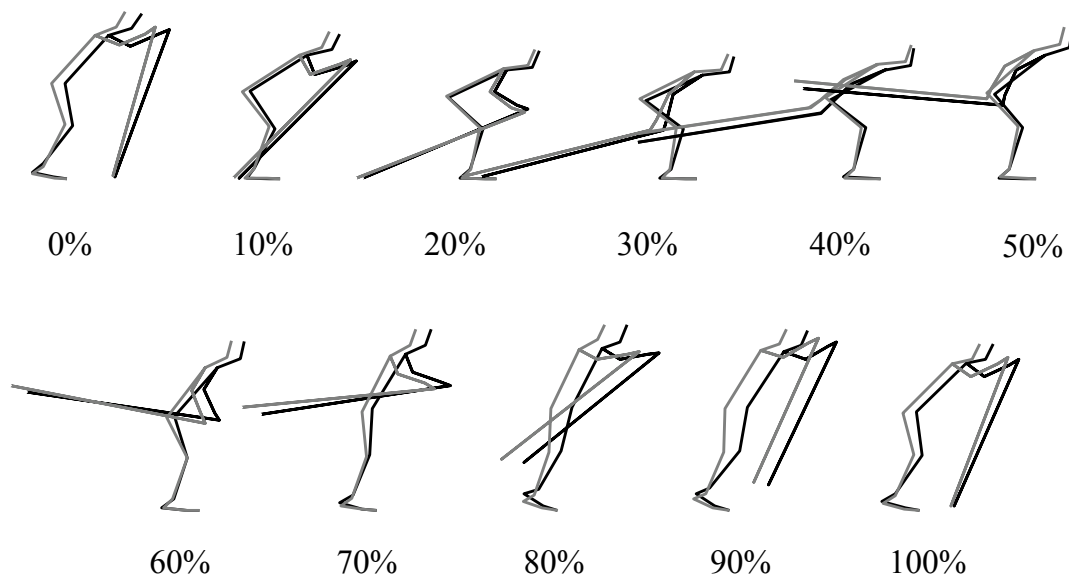


図 4.2.7 Lap1(黒色)および Lap3(灰色)におけるダブルポーリング走法中の平均動作パターンのスティックピクチャ.

Holmberg et al. (2006) は, ダブルポーリング走法における下肢の貢献について調べるために, 下肢の動きを制限した場合 (膝関節を完全伸展位で固定し, 通常, 踵が浮く構造となっているスキー靴の踵を固定することで足関節の動きを制限) と制限しなかった場合のダブルポーリング走法を比較した. 彼らの研究では, 固定時の動作では非固定時の動作と

比較して、滑走速度が低下することが示された。つまり、ボールのプッシュ動作によって滑走するダブルポーリング走法においても、下肢がボール反力の獲得に重要な役割を担っていること、そして、下肢の動きが制限されると滑走速度の低下が引き起こされることが明らかにされた。これらの知見により、Lap3 における滑走速度の低下は、疲労による下肢の動きの低下に起因するものと考えられる。また、Lap1 から Lap3 にかけて、ボール反力が低下する傾向 (表 4.2.1) もみられたことから、下肢の動きの低下に起因するボール反力の低下が、直接的に滑走速度の低下を引き起こしたのと考えられる。

### 3) 上肢の動作

クロスカントリースキー競技のダブルポーリング走法は、ボールのプッシュ動作を行うことで推進力を獲得している (Bilodeau et al. 1996)。そのため、プッシュ動作の技術の変化が滑走速度の低下を引き起こすことが予想される。本研究では、接地時のボール接地距離およびポーリング角度に着目した。その結果、時間の経過に伴ってポーリング角度が有意に増加した。言い換えると、Lap3 では、より鉛直位でボールを接地しているといえる。前項でも述べたとおり、本研究では Lap3 において、下肢の動作がより直立位となる動作 (前方よりも上方へと伸び上がる動作) へと変化した。つまり、下肢の動作が変化したことによって上肢を前方へ振り出すことができなくなり、ボールを持つグリップの位置が手前へと変化したことが示唆される。さらに、ボールの接地位置には変化がなかったため、接地時のポーリング角度が増加したと考えられる。したがって、Lap3 における一連の下肢の動きの変化が、推進力を獲得しにくい姿勢でのプッシュ動作を引き起こしたといえる。

プッシュ動作中のボール反力の進行方向および鉛直方向の力のピーク値および平均値が時間の経過に伴って減少する傾向を示した。また、前腕、上腕および体幹セグメントの角度は、時間の経過に伴う変化を示さなかったが、プッシュ局面の前腕および上腕のセグメント角速度が、有意に減少した。これらの結果は、Lap3 では、上肢の動作パターンは疲労の影響を受けていないが、動作そのものが遅くなり、プッシュ時間が延長されたことを示すものである。また、プッシュ局面のストライド、ボールの接地位置には変化がみられなかった。さらにボール離地時 (30 %地点) では、下腿以外のセグメント角度の変化がみられなかった。これらの結果は、プッシュ局面では、疲労の影響に関わらず、プッシュ動作によって進む距離が変わらないことを示唆するものである。そのため、ボール反力の低下によって、ピッチが低下し (表 4.2.1)、滑走速度の低下が発生したと考えられる。一方、

スイング局面では時間の経過に伴って、50～60%地点で前腕セグメント角度が増加し、前腕および上腕セグメント角速度が減少した (図 4.2.6, 表 4.2.2) . これらのことは、疲労の影響によって、ボール離地後の腕の引き戻しが遅くなったことを示すものである. この腕の動きの変化によって、次のプッシュ局面の準備に時間がかかり、スイング時間が増加したことが考えられる.

下肢と上肢の動きの変化を総合的に評価すると、疲労の影響によって、下肢の動作域が小さくなり、上肢を前方へと移動させることができなくなったことでボールのプッシュ動作に不利な姿勢へと変化しボール反力の低下を引き起こしたこと、およびそれに伴い上肢の動作が遅くなったことが滑走速度を低下させたといえる. したがって、より高いスプリントパフォーマンスを発揮するためには、上記の動作を発生させる筋の筋持久力の向上が重要であることが示唆される. そのトレーニング方法については今後さらなる研究が必要であろう.

## 第5章 総括論議

本学位論文では、クロスカントリースキー競技の効果的な技術トレーニングの構築において重要となる様々な技術情報をバイオメカニクス的手法によって明らかにすることを目的とした。競技スポーツを扱う研究において、得られた知見をもとにした競技現場への示唆を提示することは、当該分野の最終目標であるといえる。さらに複数の知見に基づいて得られる指導やトレーニングの方法への示唆は、競技現場にとって重要な意義をもつものであり、競技パフォーマンスを向上させるうえで重要な知見となる。そこで本学位論文で得られた知見をもとに、実際の競技場面で指導すべき内容やトレーニング方法について述べる。

第2章では、クラシカル種目のスタート局面に着目し、ダイアゴナル走法とダブルポーリング走法の特徴を明らかにした。その結果、スタート局面においてダイアゴナル走法は、ダブルポーリング走法よりスタート直後の走法に優れることが示された。一方、ダブルポーリング走法は、スタート直後の加速ではダイアゴナル走法に劣るものの、スタート地点から30m以降では、ダイアゴナル走法より高い速度を獲得できることが示された。これらの結果から、クラシカル種目のスタート局面では、スタート直後に加速に優れるダイアゴナル走法を用い、その後、ダイアゴナル走法よりも最高速度を高められるダブルポーリング走法に切り替えることによって滑走速度が高められることが明らかとなった。スタート局面では、一長一短のある各走法の特徴を踏まえた上で、最適なタイミングで走法の切り替えを行うことが滑走速度を高める上で重要であることが示された。実際の競技で選手は、スタート局面だけでなく、コースの起伏に合わせて幾度も走法の変更を行いながら滑走する。したがって、クロスカントリースキー競技の滑走技術とは、各走法の滑走技術とそれらの走法の切り替え技術の2つから構成されるといえる。競技現場では、各走法の滑走速度を高めるとともに走法の切り替え時に滑走速度をなるべく低下させないようにする指導やトレーニングが競技パフォーマンスを向上させるうえで重要である。具体的なトレーニング方法としては、個々の滑走技術の程度を踏まえたうえで、スタート局面や競技で用いられるコースの起伏に合わせて走法の切り替えのタイミングを確認し、反復練習などによって切り替え技術の精度を高めることが必要であろう。

第3章では、まずV2スケーティング走法中の力の貢献度に着目した。その結果、V2スケーティング走法中の上肢によるプッシュ動作と下肢によるプッシュオフ動作では、滑走

速度を獲得するための力の貢献度が同程度であり、上肢を下肢のそれぞれの動作特性を利用して滑走速度を獲得していること、および、下肢ではスキー板の底面に対して力を加えることで推進力を得ていることが明らかとなった。つまり、滑走速度の増加には、スキー板の底面に対する力を変化させることが重要な役割を持つと考えられる。そこで滑走速度の増加に伴う動作（第3章第3節）、および、力（第3章第4節）に着目した。その結果、V2 スケーティング走法では、滑走速度の増加に伴い、スキーを接地後、脚によるプッシュオフ動作が行われる前に一度スキーが地面から離れるフライト局面が発生することが明らかとなった。また、女子選手の V2 スケーティング走法では、滑走速度の増加に伴うフライト局面の発生はみられなかったが、滑走中の力の変化をみるとフライト局面を発生させる可能性があることが明らかとなった。第3章第3節の結果から、V2 スケーティング走法では、フライト局面を伴うダイナミックな動作を伴う大きな力の発揮によって滑走速度の増加が行われることが示唆された。一方、女子選手においても滑走速度の増加に伴って、ダイナミックな力発揮がみられたが、フライト局面の発生を伴う程度ではなかった（第3章第4節）。したがって、女子選手においてフライト局面を伴うダイナミックな力発揮は、男子選手とは異なる制限要因によって困難な技術であることが予想される。言い換えると、女子選手にフライト局面を伴った滑走動作を実施させた場合、よりダイナミックな力発揮ができ、滑走速度が高まる可能性も考えられる。この仮説を第3章第5節で検証した。その結果、女子選手に対するフライト局面を伴う V2 スケーティング走法の指導およびトレーニングは、滑走速度を増加させるために有効な手段であることが明らかとなった。また、女子選手にとっては宙に浮くことに対する恐怖感とバランスが崩れるような感覚によって、フライト局面の発生を抑制していたことが制限要因となり、滑走速度の増加を制限していたことが示唆された。つまり、女子選手にとっては、フライト局面を意識的に発生させるようなトレーニングを実施し、フライト局面を伴う滑走動作に慣れることが滑走速度を増加させるうえで重要であるといえる。具体的なトレーニング方法としては、選手に意図的にフライト局面を発生させた V2 スケーティング走法を慣れさせたうえで、実際の競技で用いられている駆け引きやラストスパートの局面をトレーニング時に再現して、最適なタイミングでフライト局面を伴う滑走動作を実施できるようにさせることが重要である。

第4章では、ダブルポーリング走法中の疲労の影響に着目した。ダブルポーリング走法では、滑走中の疲労の影響によって、下肢の動作域が小さくなり、上肢を前方へと移動させることができなくなることで、ポールのプッシュ動作に不利な姿勢へと変化しポール反



力の低下を引き起こすこと、それに伴い上肢の動作が遅くなることが明らかとなった。一方、第3章第5節では、V2 スケーティング走法中において下肢の動作によるフライト局面の発生が上肢によるプッシュ動作の推進力の獲得に有効であることが示された。V2 スケーティング走法中には下肢の動作では違いがあるものの、上肢の動作ではダブルポーリング走法と同様の力発揮が行われていること（第3章第2節）から、どちらの走法においても下肢の動作の変化が上肢の動きに変化を及ぼしていることが考えられる。バンクーバー五輪クラシカル種目のスプリント競技のテレビ映像をみると、一流男子選手がダブルポーリング走法中に、V2 スケーティング走法と同様にフライト局面を発生させたプッシュ動作を行っている（図 5.1.1）。つまり、V2 スケーティング走法と同様に、ダブルポーリング走法においてもフライト局面の発生を伴う下肢のダイナミックな動作が上肢のポール反力を高めている可能性が示唆される。一方、第4章で示したように、疲労の影響によって下肢の動作が制限された場合、下肢のダイナミックな動作によって発生するフライト局面を伴う滑走動作を行うことは難しいと考えられる。したがって、フライト局面を伴うようなダイナミックな下肢の動作を習得することは、ダブルポーリング走法など他の走法の技術の向上にも良い影響を与えることが考えられる。また、バンクーバー五輪の同種目において、女子選手のダブルポーリング走法中には、フライト局面は確認されなかった。したがって、他の走法においてもフライト局面の発生と滑走速度との関係を明らかにすることは、競技パフォーマンスを向上させるための新たな知見を得るうえで重要であろう。

競技スポーツで扱われる運動技術を高め、そのパフォーマンスを向上させるためには、競技中にどのような運動技術が用いられているのか、その運動技術がどのようなメカニズムによって遂行され、パフォーマンスの良し悪しに関与しているのかという情報を得た上で、適切な指導やトレーニングの方法を考案することが望ましい。クロスカントリースキー競技においては、競技中に扱われる滑走技術を高めてパフォーマンスとなる滑走速度を増加させる、あるいは高い滑走速度を維持させるための情報に基づいた指導やトレーニングの方法を構築する必要がある。しかし、実際の競技現場では、選手や指導者の主観によって指導やトレーニングが行われている場面が多く、種々の滑走技術が競技パフォーマンスとどのように関与しているのかがあまり明らかにされていないのが現状である。これは、実際の競技において、開催される会場によってコースレイアウトが異なっており、さらに天候や雪質が時々刻々と変化するため、選手が環境条件にあわせた運動技術を選択する必要があるためである。そのため、実際の競技で用いられている滑走技術のすべてに焦点を

当てて、競技パフォーマンスとの関係を明らかにするのは難しい。そこで本研究では、競技場面において競技パフォーマンスとの関連の高い滑走技術の事例に焦点を当てて、競技パフォーマンスとの関係について検討を試みた。第2章では、クラシカル種目のすべての競技場面に関連するスタート局面に焦点を当てた。クラシカル種目のスタート会場は、必ず平坦な場所に設定されており、コースは直線である。つまり、環境条件が一定であるため、得られた技術情報はすべての競技場面で応用可能である。したがって、スタート直後にダイアゴナル走法を用いて素早く加速し、その後、ダブルポーリング走法に切り替える技術をトレーニングによって習得することが、滑走技術を高めるために重要である。第3章では一定の滑走速度下（主要滑走局面）での V2 スケーティング走法に焦点を当てた。V2 スケーティング走法は、フリー種目の競技場面において多用される走法であるため、競技パフォーマンスの向上のための技術情報は重要な知見となる。したがって、上肢と下肢の貢献が同程度であり、フライト局面を伴う滑走動作が滑走速度の獲得のために重要な技術であるという技術情報が得られたことにより、これらに焦点を当てた指導およびトレーニング方法を構築することが可能となった。第4章では、滑走中の疲労の影響に焦点を当てた。第1章で明らかにしたように、クロスカントリースキー競技は、最大酸素摂取量などの体力的要素が競技パフォーマンスの決定に大きく影響する競技である。したがって、実際の競技場面で選手は、経時的な筋活動によって疲労を蓄積させながら、実施可能な滑走技術を用いていると考えられる。さらに本研究で取り上げたダブルポーリング走法は、平坦な場所に設定されているクラシカル種目のフィニッシュ局面において必ず使用される走法である。つまり、動作中の下肢の動作域を維持できるようなトレーニングを行うことは、フィニッシュ局面で競技パフォーマンスを高めるために重要であると考えられる。

このように本研究では、スタート局面、主要滑走局面の V2 スケーティング走法、ダブルポーリング走法の疲労による変化について考察し、技術情報を明らかにしたうえでトレーニング方法を示してきた。しかしながら、本研究の限界点がいくつか挙げられる。まず、クロスカントリースキー競技のクラシカルおよびフリー種目で用いられるすべての走法にわたって研究がなされていないことである。第2章ではダイアゴナル走法とダブルポーリング走法を対象としているが、フリー種目のスタート局面における検討はされていない。フリー種目のスタート局面においては、V1 スケーティング走法と V2 スケーティング走法とを使い分けて滑走されており、同速度では V1 スケーティング走法が比較的に高いピッチを有していること、V2 スケーティング走法は比較的に長いストライドを有していること

が示されている (Millet et al., 1998b) . 第 2 章では, 比較的に高いピッチを有するダイアゴナル走法がスタート直後の加速に優れており, その後, 比較的に長いストライドを有するダブルポーリング走法へと切り替えがなされていた. したがって, 高いピッチを有する V1 スケーティング走法のほうがより加速に優れた走法であることが予想される. この点については, より詳細な研究が必要であろう. また第 3 章では, 平地における V2 スケーティング走法のみを研究対象とした. 他の走法については, ポールおよびスキー反力の測定した報告がいくつかみられる (Ekström, 1981; Millet et al., 1998a; 1998b; Vähäsöyrinki et al., 2008; Stöggl et al., 2008; 2010; Lindinger et al., 2009) ものの, 本研究のように得られた知見をもとに指導方法に減収した例はない. したがって, 他の走法に関しても, ポールおよびスキー反力に関する知見から, 競技力向上のための示唆が必要であり, 今後の研究が期待されるところである. 第 4 章では, 平地におけるダブルポーリング走法中の疲労の影響による動作の変化を対象とした. 競技現場において, フリー種目のフィニッシュ局面では V2 スケーティング走法を用いる場面がよくみられる. したがって, 本研究で行ったように, V2 スケーティング走法中の疲労の影響を明らかにする必要がある. また, 登り斜面や下り斜面においても, 同様の検討が必要であろう.

先に述べたとおり, 本研究で明らかにした技術情報はクロスカントリースキー競技の競技力向上の一助になると考えられるが, 協議全体の技術情報の一部にすぎない. これが本研究の限界であったが, これまでに指摘してきたように, あらゆる競技場面に着目し, 技術情報を抽出してトレーニング方法を明確化した事例研究が今後も大いになされることを期待したい.

## 第 6 章 結論

本学位論文では、クロスカントリースキー競技の効果的な技術トレーニングの構築において重要となる様々な技術情報をバイオメカニクス的手法によって明らかにすることを目的とした。

具体的な研究結果は以下の通りである。

1. クラシカル種目のスタート局面について動作分析した結果、スタート直後に加速に優れるダイアゴナル走法を用い、その後、ダイアゴナル走法よりも最高速度を高められるダブルポーリング走法に切り替えることによって滑走速度が高められることが明らかとなった。
2. V2 スケーティング走法中の上肢と下肢の貢献について滑走中の力を分析した結果、上肢のプッシュ動作と下肢のプッシュオフ動作では、滑走速度を獲得するための力の貢献度が同程度であり、上肢を下肢のそれぞれの動作特性を利用して滑走速度を獲得していること、および、下肢ではスキーに対して下方向に力を加えることで推進力を得ていることが明らかとなった。
3. V2 スケーティング走法中の滑走速度に伴う動作の変化について動作分析した結果、滑走速度の増加に伴い、スキー板を接地後、スキー板を用いたプッシュオフ動作が行われる前に一度スキー板が地面から離れるフライト局面が発生することが明らかとなった。
4. 女子選手の V2 スケーティング走法中の動作と力について分析した結果、滑走速度の増加に伴うフライト局面の発生はみられなかったこと、滑走中のポールおよびスキー反力が増加したことが明らかとなった。
5. 女子選手のトレーニング事例として、フライト局面を伴う V2 スケーティング走法の指導を行った結果、フライト局面の発生を促す指導が滑走速度を増加させるために有効な手段であることが明らかとなった。
6. ダブルポーリング走法中の疲労の影響について動作分析した結果、下肢の動作域が小さくなり、上肢を前方へと移動させることができなくなること、プッシュ動作に不利な姿勢へと変化しポール反力の低下を引き起こすこと、それに伴い上肢の動作が遅くなることが明らかとなった。

上記のような各走法に対するバイオメカニクス的研究を踏まえ、クロスカントリースキー競技における指導および技術トレーニングとバイオメカニクスの分析の意義について考察した。クロスカントリースキー競技の各走法にはそれぞれに技術的な特徴があり、この

ことがコースの地形や体力の変化に合わせて走法の切り替えを行う要因となっていることが明らかとなった。したがって、スタート局面や主要滑走局面における各走法の特徴を理解し、指導やトレーニングを行う必要があることが考えられる。また、各走法の動作および力学的特徴が、疲労の影響によって変化することが示された。このことから、疲労の影響による動作の変化をよく理解したうえで、指導やトレーニングを行うことが望ましいだろう。

## 文献

Ae, M., Tang, H.P., and Yokoi, T. Estimation of inertia properties of the body segment in Japanese athlete. In: Society of Biomechanisms (ed.) , Biomechanisms, 11: pp. 23-33. Tokyo, Japan: University of Tokyo Press, 1992.

阿江通良. 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. Japanese Journal of Sports Science, 15: 155-162, 1996.

Bergh, U. The influence of body mass in cross-country skiing. Medicine and Science in Sports and Exercise, 19: 324-331, 1987.

Bergh, U., Forsberg, A. Influence of body mass on cross-country ski racing performance. Medicine and Science in Sports and Exercise, 24: 1033-1039, 1992.

Bilodeau, B., Boulay, M. B., Roy, B. Propulsive and gliding phases in four cross-country skiing techniques. Medicine and Science in Sports and Exercise, 24: 917-925, 1992.

Bilodeau, B., Roy, B., Boulay, R. Upper-body testing of cross-country skiers. Medicine and Science in Sports and Exercise, 27: 1557-1562, 1995.

Bilodeau B., Rundell, K. W., Roy, B., Boulay, M. R. Kinematics of cross-country ski racing, Medicine and Science in Sports and Exercise, 28: 128-138, 1996.

Boulay, M. R., Rundell, K. W., and King, D. L. Effect of slope variation and skating technique on velocity in cross-country skiing. Medicine and Science in Sports and Exercise, 27: 281-287, 1994.

Conley, D. L., Krahenbuhl, G. S. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. Medicine and Science in Sports and Exercise, 12: 357-360, 1980.

Daniels, J. T., Yarbrough, R. A., Foster, C. Changes in V'O<sub>2</sub>max and running performance with training. *European journal of Applied Physiology*, 39: 249-254, 1978.

Ekström, H. Force interplay in cross-country skiing. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 3: 69-76, 1981.

Fujita, Z., Ishige, Y., Yoshioka, S., Tauchi, K., Iso, S., Fukashiro, S., Tsuchiya, J. A relationship between the occurrence of the flight phase and the increase in velocity during V2 skating. *International Journal of Sport and Health Science*, 8: 113-120, 2010.

藤田善也, 石毛勇介, 吉岡伸輔, 衣笠竜太, 土屋純. クロスカントリースキーのスタート局面におけるクラシカル走法の技術の特徴. *スポーツ科学研究*, 8: 3-11, 2011.

Gaskill, S. E., Serfess, R. C., Rundell, K. W. Upper body comparison between groups of cross-country skiers and runners. *International Journal of Sports Medicine*, 20: 290-294, 1999.

Gregory R. W., Humphreys, S. E., Street, G. M. Kinematic analysis of skating technique of Olympic skiers in the woman's 30-km race. *Journal of Applied Biomechanics*, 10: 382-392, 1994.

Haymas, E. M., Arthur, L. Characteristics of elite male and female ski racers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12: 153-158, 1980.

Hoffman, M. D., Clifford, P. S. Physiological responses to different cross country skiing techniques on level terrain. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22: 841-848, 1990.

Hoffman, M. D., Clifford, P. S., Bender, F. Effect of velocity on cycle rate and length for three roller skiing techniques. *Journal of Applied Biomechanics*, 11: 257-266, 1995.

Holmberg, H. C., Lindinger, S., Stöggl, T., Bjorklund, G., Müller, E. Contribution of the legs to

double-poling performance in elite cross-country skiers. *Medicine and Science Sports and Exercise*, 38: 1853-60, 2006.

Ingjer, F. Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 1: 25-30, 1991.

小林規. 交互滑走の動作分析. *体育の科学*, 33: 895-899, 1980.

北村辰夫, 吉本俊明, 高橋正則, 菅生貴之, 水落文夫, 鈴木典, 佐藤紀子, 石井政弘. クロスカントリースキーとローラースキーによるスーパースケーティングの滑走動作の比較 -全日本スキー連盟強化指定選手を対象として-. *日本大学文理学部人文科学研究所研究紀要*, 63: 191-201, 2002.

Larsson P., Henriksson-Larsen, K. Body composition and performance in cross-country skiing. *International Journal of Sports Medicine*, 29: 971-975, 2008.

Leppavuori A. P., Karras, M., Rusko, H., Viitasalo, J. T. A new method of measuring 3-D ground reaction forces under the ski during skiing on snow. *Journal of Applied Biomechanics*, 9: 315-328, 1993.

Lindinger S. J., Stöggl, T., Müller, E., Holmberg, H.-C. Control of speed during the double poling technique performed by elite cross-country skiers. *Medicine and Science Sports and Exercise*, 41: 210-220, 2009.

Millet, G. Y., Hoffman, M. D., Candau, R. B., Clifford, P. S. Poling forces during roller skiing: Effects of grade. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30: 1637-1644, 1998a.

Millet, G. Y., M. Hoffman, D. H., Candau, R. B., Clifford, P. S. Poling forces during roller skiing: Effects of technique and speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30: 1645-1653, 1998b.



Mittelstadt, S. W., Hoffman, M. D., Watts, P. B., O'Hagan, P., Sulentic, J. E., Drobish, K. M., Gibbns, T. P., Newbury, V. S., Clifford, P. S.: Lactate response to uphill roller skiing: diagonal stride versus double pole techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27: 1563-1568, 1995.

Mogroni, P., Rossi, G., Gastaldelli, F., Canclini, A., Cotelli, F. Heart rate profiles and energy cost of locomotion during cross-country skiing races. *European Journal of Applied Physiology*, 85: 62-67, 2001.

Mygind, E., Andersen, L. B., Rasmussen, B. Blood lactate and respiratory variables in elite cross-country skiing at racing speeds. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 4: 243-251, 1994.

Nilsson, J., Jakobsen, V., Tveit, P., Eikrehagen, O. Pole length and ground reaction forces during maximal double poling in skiing. *Sport Biomechanics*, 2: 227-236, 2003.

Nilsson, J., Tveit, P., Eikrehagen, O. Effects of speed o temporal patterns in classical style and free style cross-country skiing. *Sport Biomechanics*, 3: 85-108, 2004.

Perrey, S., Millet, G. Y., Candau, R., Rouillon J. D. Strech-shortening cycle in roller ski skating: Effect of technique. *International Journal of Sports Medicine*, 19: 513-520, 1998.

Pierce, J. C., Pope, M. H., Renstrom, P., Johnson, R. J., Dufek, J., Dillman, C. Force measurement in cross-country skiing. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3: 382-391, 1987.

Pinchak A. C., Hancock, D. E., Hagan, J. F., Hall, F. B. Biomechanical differences between cross country snow skiing and roller skiing: Analysis of some kinematic measurements. *Biomechanics in sport - a 1987 update*, Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers, 69-76, 1987.

Rusko, H., Havu, M., Karvinen, E. Aerobic performance capacity in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 38: 151-159, 1978.

Rusko, H. *Cross Country Skiing*. Blackwell Science, pp. 32-61, 2003.

Saibene, F., Cortili, G., Roi, G., Colombini, A. The energy cost of level cross-country skiing and the effect of the friction of the ski. *European Journal of Applied Physiology*, 58: 791-795, 1989.

Sandbakk, Ø, Holmberg, H. -C., Leirdal, S., Ettema, G. The physiology of world-class sprint skiers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, Article first published online, 2010.

Smith, G. A. Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24: 1015-1022, 1992.

Smith, G. A., Heagy, B. S. Kinematic analysis of skating technique of Olympic skiers in the men's 50-km race. *Journal of Applied Biomechanics*, 10: 79-88, 1994.

Smith, G. A., Fewster, J. B., Braudt, S. M. Double poling kinematics and performance in cross-country skiing. *Journal of Applied Biomechanics*, 12: 88-103, 1996.

Street, G. M., Gregory R. W. Relationship between glide speed and Olympic cross-country ski performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 10: 393-399, 1994.

Street, G. M., Frederick, E. C. Measurement of skier-generated forces during roller-ski skating. *Journal of Applied Biomechanics*, 11: 245-256, 1995.

Stöggl, T., Müller, E., Lindinger, S. Biomechanical comparison of the double-push technique and the conventional skate skiing technique in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences*, 26: 1225-1233, 2008.

Stöggl, T. L., Müller, E. Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41: 1476-1487, 2009.

Stöggl, T, Kampel, W., Müller E., Lindinger, S. Double-push skating versus V2 and V1 skating on uphill terrain in cross-country skiing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41: 187-196, 2010.

Stöggl, T., Müller, E. Ainegren, M., Holmberg, H.C. General strength and kinetics fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21: in print, 2011.

鈴木典. クロスカントリースキー -腕を使って速く滑る-. *体育の科学*, 58: 788-793, 2008.

高松潤二, 阿江通良, 藤井範久. 大きな計測範囲のためのパンニング DLT 法の開発. *体育学研究*, 42: 19-29, 1997.

竹田正樹, 倉敷千稔, 繁本清美. クロスカントリースキー選手における夏期トレーニングが最大酸素摂取量に及ぼす影響 (I). *同志社保健体育*, 35: 101-113, 1996.

竹田正樹, 倉敷千稔, 繁本清美. 大学クロスカントリースキー選手のトレーニングに伴う最大酸素摂取量の変化 -冬季シーズン中の変化を中心に-. *同志社保健体育*, 36: 58-71, 1997.

竹田正樹. クロスカントリースキー競技におけるコンピュータを用いたレース分析と長野オリンピックでのレース分析結果. *同志社保健体育*, 37: 45-56, 1998.

竹田正樹, Vähäsöyrinki, P. クロスカントリースキー競技における全日本ナショナルチームとフィンランドナショナルチームのトレーニングの比較. *トレーニング科学*, 16: 55-62, 2004.

Vesterinen, V., Mikkola, J., Nummela, A., Hynynen, E., Häkkinen, K. Fatigue in a simulated cross-country skiing sprint competition. *Journal of Sports Sciences*, 27: 1069-1077, 2009.

Vähäsöyrinki, P., Komi, P. V., Seppälä, S., Ishikawa, M., Kolehmainen, V., Salmi, J. A., Linnamo, V. Effect of skiing speed on ski and pole forces in cross-country skiing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40: 1111-1116, 2008.

Winter, D. A. *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley and Sons Inc.: New York, pp. 41-43, 1990.

Zory, R., Vuillerme, N., Pellegrini, B., Schena, F., Rouard, A. Effect of fatigue on double pole kinematics in sprint cross-country skiing. *Human Movement Science*, 28: 85-98, 2009.

Zory, R., Molinari, F., Knaflitz, M., Rouard, A. Muscle fatigue during cross country sprint assessed by activation patterns and electromyographic signals time-frequency analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21: in print, 2011.

## 謝辞

スキーシーズンにはほとんど研究室に顔を出さない私の活動を認めてくださり、主査として本論文の完成にご尽力くださいました土屋純先生に心より感謝申し上げます。早稲田大学大学院スポーツ科学研究科コーチング領域の研究論文として、ふさわしい内容かはわかりませんが、今後もコーチング科学のあり方を追究していきたいと思います。今後とも、ご指導をいただけますと幸いです。

副査としてご指導いただいた彼末一之先生と矢内利政先生、田内健二先生、大変ありがとうございました。彼末先生には、競技現場に対して研究者がどのように在るべきかをご指導いただきました。矢内先生には、とても丁寧な論文作成のアドバイスをいただき、用語の定義や方法の記述など、学術論文の書きかたをご指導いただきました。田内健二先生には、大学院修士課程入学時からお世話になり、競技スポーツを扱う研究者の手ほどきをしていただきました。

私をクロスカントリースキー競技の研究者に導いてくださったのは、石毛勇介先生と吉岡伸輔先生でした。月1回の国際武道大学でのスキーMTGに参加させていただき、スポーツ科学の研究の面白さを知りました。吉岡先生には、論文のいろはからひずみゲージの貼るかたに至るまで、大変丁寧にご指導をいただきました。力センサの製作過程であらゆる失敗をしましたが、その失敗を糧にようやくここまでたどり着くことができました。今後とも、ご指導ご鞭撻の程、よろしくお願い致します。

早稲田大学スキー部ランナー部門の皆様には、本研究の被験者としてご協力をいただきました。私が半人前であるがゆえに、どのようなデータを提供させていただくべきか判断できず、結果的に十分なフィードバックをさせていただくことができなかったことを後悔しています。今後は、競技現場に貢献できる研究者となるよう、一層精進致します。皆様の今後のご活躍をご祈念いたします。

ここにお一人お一人のお名前を挙げることはできませんが、これまでご指導とご協力をいただいたすべての皆様に心より感謝申し上げます。

## 資料

### 論文

- 1) **Zenya Fujita**, Yusuke Ishige, Shinsuke Yoshioka, Kenji Tauchi, Shigeo Iso, Senshi Fukushima, Jun Tsuchiya. A relationship between the occurrence of the flight phase and the increase velocity during V2 skating. International Journal of Sport and Health Sciences. Vol.8, 113-120, 2010
- 2) 藤田善也, 石毛勇介, 吉岡伸輔, 衣笠竜太, 土屋純. クロスカントリースキーのスタート局面におけるクラシカル走法の技術の特徴. スポーツ科学研究, 8, 3-11, 2011.

### 学会発表

- 1) 藤田善也, 石毛勇介, 吉岡伸輔, 深代千之, 磯繁雄. クロスカントリースキーのV2スケーティング滑走動作における運動力学的分析, 日本体育学会第59回大会, 2008.
- 2) 藤田善也, 石毛勇介, 吉岡伸輔, 磯繁雄, 深代千之, 土屋純. クロスカントリースキーのV2スケーティング動作中の滑走速度と力成分の関係. 日本体育学会第60回記念大会, 2009.
- 3) **Zenya Fujita**, Jun Tsuchiya. Relationship between reaction force and velocity during the V2-skate technique in cross-country skiing –roller ski study-. The 2nd International Sport Science Symposium on "Active Life". Waseda University, Japan. 2010. Mar.
- 4) 藤田善也, 石毛勇介, 吉岡伸輔, 田内健二, 深代千之, 土屋純. 3分間のクロスカントリースキー・ダブルポーリング走法中の動作と力の変化. 第21回日本バイオメカニクス学会, 2010.
- 5) 藤田善也, 石毛勇介, 田内健二, 吉岡伸輔, 深代千之, 土屋純. クロスカントリースキー競技の加速局面における滑走技術の比較 –クラシカル種目を対象として-. 日本体育学会第61回大会, 2010.

- 6) **Zenya Fujita**, Jun Tsuchiya. The time course changes of the kinematics and kinetics during double-poling technique in cross-country sprint skiing. The 3rd International Sport Science Symposium on "Active Life". Waseda University, Japan. 2010. Sep.
- 7) **Zenya Fujita**, Yusuke Ishige, Shinsuke Yoshioka, Jun Tsuchiya. The time course changes of the kinematics and kinetics during double-poling technique in cross-country sprint skiing. The 5th International Congress of Science and Skiing. Austria. 2010. Dec.
- 8) **Zenya Fujita**, Kenji Tauchi, Ryuta Kinugasa, Jun Tsuchiya. Characteristics of classic style technique during starting phase in cross-country skiing. The 4th International Sport Science Symposium on "Active Life". Waseda University, Japan. 2011. Feb.
- 9) **Zenya Fujita**, Jun Tsuchiya. Contribution of upper- and lower-limb to propulsive force during V2 skate in cross-country skiing. The 5th International Sport Science Symposium on "Active Life". Waseda University, Japan. 2011. Aug.

# A Relationship between the Occurrence of the Flight Phase and the Increase in Velocity during V2 Skating

Zenya Fujita\*, Yusuke Ishige\*\*, Shinsuke Yoshioka\*\*\*, Kenji Tauchi\*\*\*\*, Shigeo Iso\*\*\*\*, Senshi Fukashiro\*\*\*\*\* and Jun Tsuchiya\*\*\*\*

\*Graduate School of Sport Sciences, Waseda University  
2-579-15 Mikajima, Tokorozawa, Saitama 359-1192 Japan  
z.fujita.w-ski@akane.waseda.jp

\*\*Faculty of Physical Education, International Budo University  
841 Shinkan, Katsuura, Chiba 299-5295 Japan

\*\*\*Faculty of Sport and Health Science, Ritsumeikan University  
1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga 525-8577 Japan

\*\*\*\*Faculty of Sport Sciences, Waseda University

2-579-15 Mikajima, Tokorozawa, Saitama 359-1192 Japan

\*\*\*\*\*Department of Life Sciences (Sports Sciences), University of Tokyo  
3-8-1 Komaba, Meguro, Tokyo 153-8902 Japan

[Received January 20, 2010; Accepted December 22, 2010; Published online December 28, 2010]

Two types of profiles of ski reaction forces during V2 skating have been reported by previous investigations. One of the differences between these two profiles is in the existence of the “flight phase,” i.e., the phase in between gliding and kicking off, in which the skis float above the snow while skiing. It has been suggested that the difference is caused by the skating velocity. The purpose of this study is to clarify whether or not there is a relationship between the occurrence of the flight phase and the increase in velocity during V2 skating. Seven elite male cross-country skiers performed two types of trials at different velocities (high and medium speeds). The high and medium speeds correspond to the competitive pace for a sprint race and a 10-km race, respectively. The kinematics was measured for each trial using two video cameras and a panning direct linear transformation technique. The flight phase was determined by the ski load data obtained from a sensor attached to the ski. No flight phase was confirmed during medium-speed skating, but a flight phase was confirmed during high-speed skating, indicating the existence of the flight phase is related to an increase in skating velocity. However, the hip- and knee-joint angles and the vertical displacement of the center of mass were not changed by an increase in skating velocity. These results suggested that the flight phase was a small change from the standpoint of kinematics, but it may cause changes in muscle activity since the leg muscle groups experience no ground reaction force.

**Keywords:** velocity, flight phase, V2 skating, cross-country skiing

## 1. Introduction

With the introduction of sprint races and mass-start races in recent years, there has been an increase in situations where skiers compete directly with other skiers in cross-country skiing competitions. In such situations, the V2 skating technique (referred to below as “V2 skating”) is a crucial technique used in situations which determine victory or loss, such as on a flat ground where it is easy to increase velocity, and final spurts right before the finish line.

Therefore, several investigations have previously been focused on velocity and movements during V2 skating (Bilodeau et al., 1992; Millet et al., 1998; Smith, 1992; Stöggl et al., 2008; Stöggl and Müller, 2009).

Smith (1992) measured the reaction force of skis in one cycle of V2 skating and showed that there was a bimodal force component during ski contacted with the ground. Stöggl et al. (2008) also measured the reaction force of skis during V2 skating and showed that the flight phase (the phase where both



left and right skis completely come off the snow) occurred in the middle of the glide phase. The mean velocity and cycle time were potentially different between these two studies. The mean velocity of one cycle was not given by Smith (1992), but the cycle time was shown to be 2 s. On the other hand, Stöggl et al. (2008) showed that the mean velocity was  $7.15 \pm 0.59$  m/s and the cycle time was 1.56 s. The movement required lesser time in the study of Stöggl et al. (2008) than in the study of Smith (1992). Shortening the cycle time is synonymous with increasing the cycle rate. An increase in the cycle rate during V2 skating is closely related to an increase in velocity (Bilodeau et al., 1992; Millet et al., 1998; Stöggl and Müller, 2009); that is, the velocity recorded by Smith (1992) can be regarded as being slower than that recorded by Stöggl et al. (2008). Therefore, it is suggested that the difference in the two results (i.e., in the occurrence of a flight phase) is related to the increase in velocity. However, no study could be found elucidating the existence of a relationship between the velocity and flight phase during V2 skating. Therefore, the purpose of this study is to clarify whether or not there is a relationship between the occurrence of the flight phase and the increase in velocity during V2 skating.

## 2. Methods

### 2.1 Subjects

Seven male [age  $19.9 \pm 1.7$  (mean  $\pm$  standard deviation) years, height  $172.1 \pm 4.3$  cm, weight  $67.0 \pm 7.1$  kg] university elite cross-country skier volunteered to participate in the present study. Each subject had at least 10 years of competitive experience and had played in leading competition race in Japan. All subjects gave informed consent before participating in this study, and the protocol was approved by the Ethics Committee of the University of Tokyo.

### 2.2 Experimental procedures

In this study, the subjects were asked to perform two types of trials with different velocities. Two velocity settings were adopted: a medium-speed setting, which is the competitive pace for a 10 km race, and a high-speed setting, which is the

competitive pace for a sprint race. The subjects were told to skate with the clear image of these two different velocities. The two skiing velocity settings for the subjects were about 5.5 m/s for medium-speed skating and over 6.0 m/s for high-speed skating. The test of medium-speeding trials was conducted first, followed by the high-speed trials. Each trial was repeated three to five times, and the closest to the above target velocity was used for later analysis. Each subject took a rest interval of at least 5 min between trials to avoid the effect of fatigue on the movement. The subjects' skating was monitored by experimenter (one of the authors), but there were no unnatural occurrences during tests. If unnatural skating was evident either subjectively to the subject, or objectively to the experimenter, the trial was deemed to be a failure, and redone after a rest.

### 2.3 Measurement of motion phases

The poles used in this study were designed for competitive use (Yoko platinum power grip, Karhu Sporting Goods Oy, Finland), and the load was detected by attaching a strain gauge (N11-FA-5-1000-11, Showa Measuring Instruments Co., Ltd., Japan) to the bottom of each pole grip. Two poles of lengths 150 cm and 155 cm were fabricated to suit the height of each subject, and the subjects were asked to select their optimal length. Competition skis (Volkan sk, Kalhu, Finland) were used, and the load on the skis was detected by attaching strain gauges to holes at the back and front of the boots bound to the sliding surface of the ski and filling the holes with restorative material. The skis were designed for independent detection of the ski front and back contact to enable the detection of the contact even when only one side of the ski (front or back) was in contact with the ground while skiing. The strain gauge signals were stored by a data logger (NR-600, Keyence Corporation, Japan) at a sampling rate of 1000 Hz. The phase times were calculated by reading the ON and OFF points from the obtained voltage waveforms. The conventional approach for strain gauges has been to convert voltage to force on the basis of calibration. However, since there were situations where the skis deformed during skiing due to the bumpiness of the snow surface, the converted values did not necessarily reflect the force exerted by the body. Therefore, the waveform was used only for the

purpose of obtaining the timing of contact with and separation from the ground.

## 2.4 Photography of motion

Video were taken at 60 field/s and a shutter speed of 1 ms, using two digital video cameras (HVR-A1J, Sony Corporation, Japan), one on the side and one at the front of a purpose-built course on the snow. The angle of view was set to 15 m (length)  $\times$  4 m (horizontal)  $\times$  2 m (height), and calibration poles were placed at a total of 18 points (0.4 m between marks). For this study, a right-handed stationary coordinate system was established with the forward direction as the y-axis, the left-right direction with respect to the y-axis as the x-axis, and the vertical direction as the z-axis. Prior to the experiment, the surface of the snow was flattened using a snow vehicle.

## 2.5 Analysis

The video taken using the two cameras was captured on a PC, and 23 points on the subject's body were digitized at a sampling rate of 60 Hz using movement analysis software (Frame-DIAS II V3, DKH, Japan). The digitized coordinate values were converted to actual lengths using the three-dimensional direct linear transformation Method (Takamatsu et al., 1997), and the three-dimensional coordinates of each body part were found. The optimal cut-off frequency (4.8-7.2 Hz) for the calculated three-dimensional coordinates was determined using the Residual Analysis Method (Winter, 1990), and smoothing was done using a fourth-order Butterworth low-pass digital filter. After that, the coordinates of the body's center of mass and its displacement were calculated using the body segment inertia coefficients given by Ae et al. (1992). To synchronize the data logger and the two cameras, an LED was flashed in view of the two cameras by an external trigger at the start of data gathering by the data logger. Voltage data obtained from the strain gauge were normalized to 60 Hz, and the movement data and sampling frequency were synchronized.

For this study, it was decided to adopt a left-right cycle within the video photography zone as the skating data to be analyzed. The skiing velocity of one cycle and the center of mass in the vertical

direction were calculated from the obtained displacement of the body's center of mass. The body's center of mass in the vertical direction was normalized using the height of the subject. Extension-flexion angles of the knee-joint was calculated from the great trochanter, the knee joint center, and the lateral malleolus. Extension-flexion angles of the hip-joint was calculated from horizontal plane, the great trochanter, and the knee joint center on sagittal plane.

The poling motion was divided into two phases. The interval from pole contact with the ground to separation was taken to be the push phase, and the interval from separation to contact with the ground was taken to be the recovery phase. The definitions of the ski phases were based on the method of Bilodeau et al. (1992). The interval from ski contact with the ground to the start of knee joint extension was taken to be the glide phase, and the interval from the start of knee joint extension to separation from the ground was taken to be the kick phase. If the ski was found separate from the ground temporarily during the glide phase, it was decided to make that phase the flight phase. In addition, it was decided to make the interval from ski separation to contact with the ground the recovery phase.

The flight time was calculated for the right leg during flight phase. Furthermore, the vertical displacement of the center of mass, and hip- and knee-joint angles were also calculated maximum value during the glide and flight phases.

## 2.6 Statistics

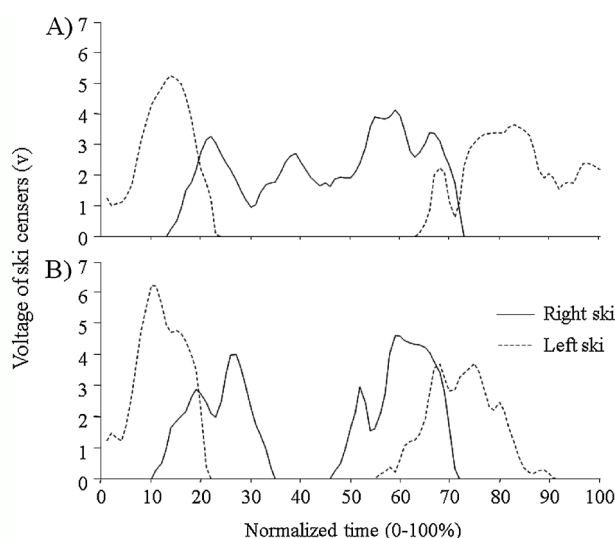
Each data was expressed as the mean  $\pm$  standard deviation. To enable a comparison between trials, the start of a cycle was set to 0% and the end to 100 %, and 101 sets of data were normalized using cubic spline interpolation. Significant differences in the skiing velocity between trials were determined by the Student's *t*-test. Significant differences in center of mass and hip- and knee-joint angles were tested by a two-way ANOVA [2 velocities  $\times$  21 times (0, 5, 10, ..., 100%, 5% step interval)] followed by the Bonferroni test for post hoc comparisons. The level of statistical significance was set at  $P < 0.05$ .

## 3. Results

For the skiing velocity of one cycle, the high-speed

trials ( $6.22 \pm 0.51$  m/s), exhibited values significantly higher than the medium-speed trials ( $5.55 \pm 0.39$  m/s) ( $t = -4.580$ ,  $p = .004$ ).

A phase where both the left and right skis completely came off the ground was confirmed only in the high-speed trials (**Figure 1**). In the medium-speed trial, the flight phase could not be confirmed for all subjects; however, in the high-speed trial, the flight phase was confirmed for 37.7-49.9% for the right ski and 0-2.5% and 91.2-100% for the left ski during 1 cycle (**Figure 2**). With the right leg, the

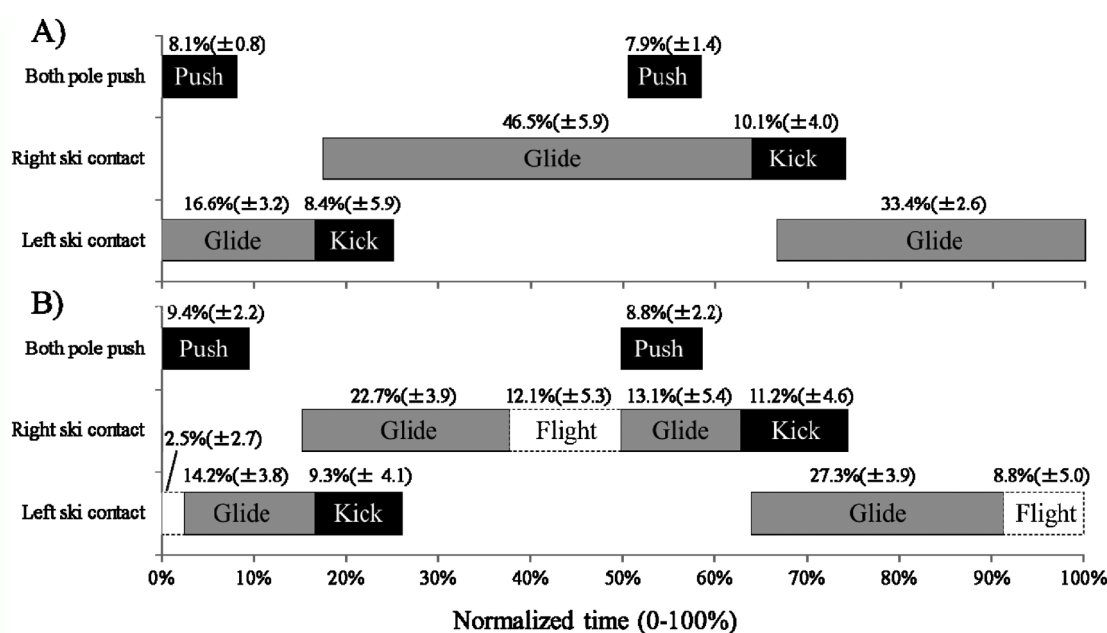


**Figure 1** A typical example of ski-sensor voltage during A) medium-speed trials and B) high-speed trials.

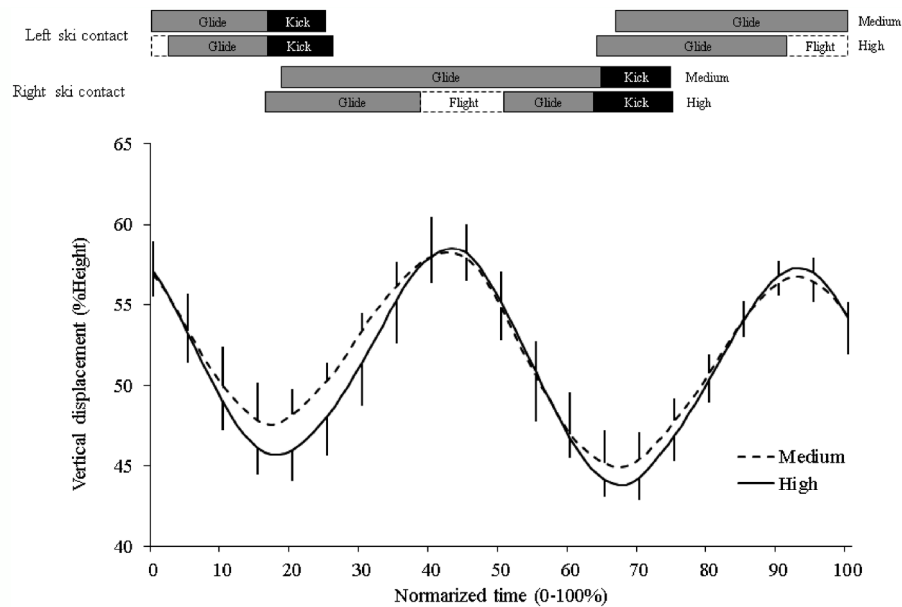
center of mass increased vertically up to the middle of the flight phase (18-43%), peaked, and then decreased. With the left leg, it increased up to the start of the flight phase (68-93%), peaked, and then decreased during the flight phase (**Figure 3**). Neither significant interaction nor main effects were found ( $F = 1.206$ ,  $p = .262$ ).

During the flight phase, the hip- and knee-joint angles in both legs changed the movement direction from extension to flexion (**Figure 4**). Neither significant interaction nor main effects were found (hip-joint angle right side:  $F = 1.192$ ,  $p = .273$ ; left side:  $F = .566$ ,  $p = .929$ ; knee-joint angle right side:  $F = .681$ ,  $p = .838$ ; left side:  $F = .747$ ,  $p = .770$ ).

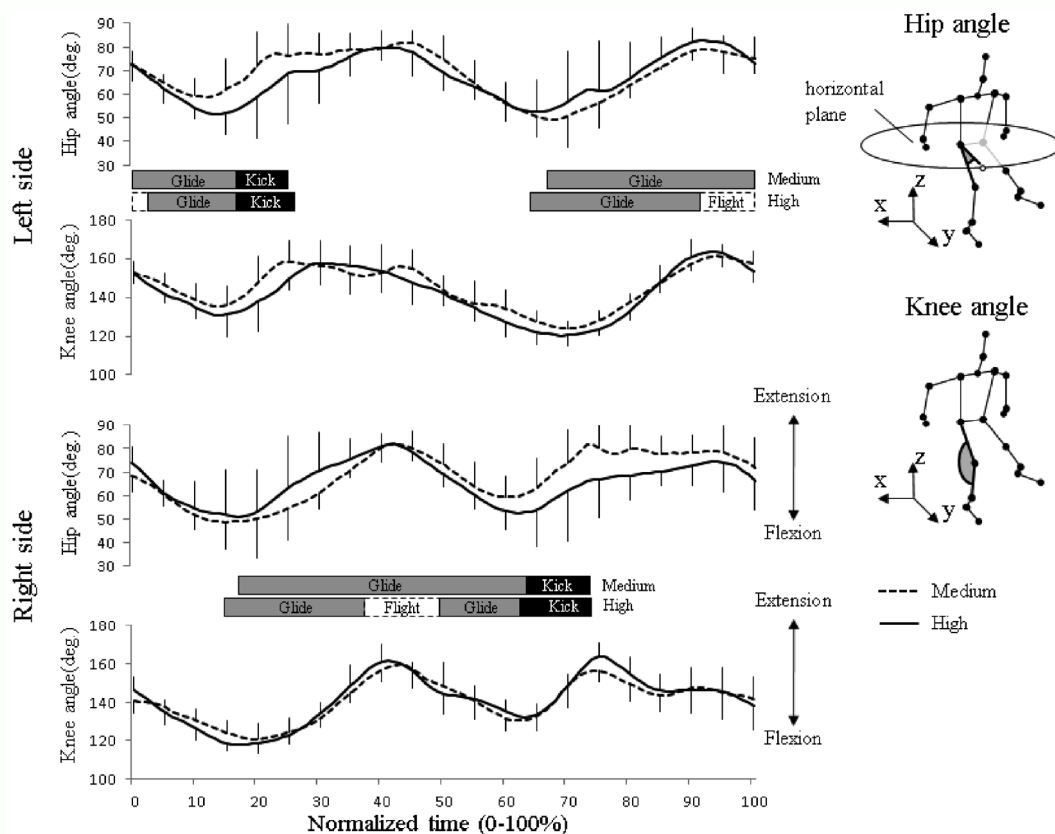
The mean flight time of the right leg in high-speed trials was  $0.18 \pm 0.07$  s (**Table 1**). The vertical displacement of the center of mass was higher during high-speed trials than during medium-speed trials for four subjects (A, C, D, and F). The maximum knee-joint angle decreased during high-speed trials than during medium-speed trials for four subjects (A, E, F, and G). The maximum hip-joint angle decreased during high-speed trials for five subjects (A, C, E, F, and G). With subject B, to which none of the above applies, there was almost no change in center of mass, and the maximum hip- and knee-joint angles increased during high-speed trials.



**Figure 2** Phase diagram of V2 skating for A) medium-speed trials and B) high-speed trials.



**Figure 3** Mean values of the vertical displacement of the center of mass.



**Figure 4** Mean values of the hip- and knee-joint angles of the left and right legs.

## 4. Discussion

In this study, a flight phase was not confirmed in medium-speed trials, but a flight phase was confirmed in high-speed trials. This result indicates

that the occurrence of the flight phase was related to V2 skating velocity.

The voltage in the middle of the glide phase during high-speed trials was 0 V (**Figure 1**), and thus, it was confirmed that the ski came completely

**Table 1** Flight time and maximum value of center of mass and knee- and hip-joint angles of right leg during glide and flight phases

Sub.	Trial	Flight time (s)	Center of mass (%Height)	Knee-angle (deg.)	Hip-angle (deg.)
A	Medium	—	56	166	83
	High	0.31	58	164	82
B	Medium	—	58	158	82
	High	0.22	58	170	84
C	Medium	—	58	159	90
	High	0.22	60	172	87
D	Medium	—	60	164	78
	High	0.11	61	173	81
E	Medium	—	60	164	89
	High	0.13	59	149	74
F	Medium	—	58	164	84
	High	0.13	61	158	78
G	Medium	—	60	162	83
	High	0.13	55	154	79
Mean $\pm$ SD	Medium	—	59 $\pm$ 1	162 $\pm$ 3	84 $\pm$ 4
	High	0.18 $\pm$ 0.07	59 $\pm$ 2	163 $\pm$ 9	81 $\pm$ 4

off the ground. Also, since the other ski and both poles were not in contact with the ground, it is likely that the body is in a state of complete flight in this phase (**Figure 2**). Also, comparison of the skating motions at different velocities showed that changes in the vertical displacement of the center of mass and hip- and knee-joint angles did not affect the flight phase (**Figure 3** and **4**). These facts suggest that, although skis definitely float above the snow during the flight phase, the change in terms of differences in kinematics was extremely small.

In the leg and center of mass motions which produce the flight phase, first the knee-joint angles extended in the glide phase (right side: 15-40%, left side: 70-95%) and then they gently flexed (right side: 40-50%, left side: 95-100%) while entering the flight phase (**Figure 4**). The hip-joint angles increased (right side: 20-40%, left side: 65-90%), and exhibited peak extension either in the flight phase (right side: 40%) or near it (left side: 90%). The vertical displacement of the center of mass also exhibited a peak in height at almost the same time as the instant of the peak hip and knee extension (**Figure 3** and **4**). In other words, it may be that movement of the center of mass forward and upward from the glide phase to the flight phase occurs due to hip and knee extension. It is thought that the flight phase, where the skis float above the

snow, is produced due to this movement forward and upward of the center of mass and hip and knee extension. However, it was shown that there are differences on the left and right in the timing of changes in the center of mass, and hip- and knee-joints during the left and right flight phase (**Figure 3** and **4**). There were also shown to be differences in the distinguishing features associated with changes in the center of mass, and hip- and knee-joint angles during the flight phase of each subject. First, it is speculated that the subjects A, C, D, and F, who increased their center of mass at high-speed trials, produced a flight phase by increasing their center of mass. It is also assumed that subjects E and G, who decreased their hip- and knee-joint angles at high-speed trials, produced a flight phase by pulling up their legs. With subject B, on the other hand, vertical displacement of the center of mass remained constant over time, and the maximum value of the hip- and knee-joint angles increased. Thus, it is likely that subject B produced a flight phase through a method different from the above methods. These facts suggest that other mechanisms that further contribute to occurrence of the flight phase without any significant alternations in the center of mass, and hip- and knee-joint angles.

The flight phase takes place in an extremely short period of time. Therefore, the difficulty of

specification with the measurement precision in this research is also thought to be a factor making it impossible to elucidate the mechanism. The mean flight time is 0.18 s (**Table 1**). Assuming that the flight phase is parabolic motion of the center of mass, then the jump height in the vertical direction is just 3.7 cm if it is estimated from the flight time. In other words, the change in motion accompanying the occurrence of the flight phase is extremely small, and this suggests that it does not occur due to a large jump up in the forward direction, or by lifting skis high off of the snow surface. To elucidate this small change will require more refined kinematics analysis techniques, as well as mechanical analysis by measuring the ground reaction force.

On the other hand, if we look at how force acts during V2 skating, the ground reaction force became 0 N in the state where the feet were lifted off the ground. Therefore, during the flight phase, the leg muscle groups were likely to be in a condition where they were not affected by ground reaction force. For this reason, there is a possibility that muscle activity differs from skating without a flight phase, and this suggests the possibility that relaxation causes changes in the subsequent muscle activity. Perrey et al. (1998) measured electromyograms of leg muscle groups during V2 skating at a velocity of 5.30 m/s, and showed that eccentric muscle contractions of leg extension muscle groups occur prior to extension of the knee. In the mechanism of the stretch shortening cycle (SSC) of leg extension muscle groups, it is known that rapid flexion occurs before extension. In this research, the hip- and knee-joints were flexed in the last half of the flight phase and the next glide phase prior to the kick phase. The technique addressed in this research and Perrey et al., (1998) was the same V2 skate technique, and the velocities were similar, and thus it was suggested that the SSC mechanism occurred in the leg extension muscle groups in the kick phase. It seems have some significant differences in muscular activity although changes in kinematics generating the flight phase were not large enough to detect any significant differences statistically. Muscular activity relating to SSC is an interesting mechanism as one of factors increasing propulsive force during V2 skating. However, there is no electromyogram data in this research, and those differences cannot be ascertained. This point will be a topic for the future.

## 5. Conclusion

The purpose of this study was to clarify whether or not there is a relationship between the occurrence of the flight phase and an increase in velocity during V2 skating. No flight phase was confirmed during medium-speed skating ( $5.55 \pm 0.39$  m/s), but a flight phase was confirmed during high-speed skating ( $6.22 \pm 0.51$  m/s). These results revealed that the flight phase is related to an increase in velocity. Also, no difference was evident in the vertical displacement of the center of mass and hip- and knee-joint angles during the flight phase. However, it was shown that the hip- and knee-joint angles and vertical displacement of the body's center of mass were not affected by the velocity. These results suggested that the flight phase was a small change from the standpoint of kinematics, but it may cause changes in muscle activity since the leg muscle groups experience no ground reaction force.

## References

- Ae, M., Tang, H. P., and Yokoi, T. (1992). Estimation of inertia properties of the body segment in Japanese athlete. In: Society of Biomechanisms (ed.), *Biomechanisms 11*: pp. 23-33. Tokyo, Japan: University of Tokyo Press. (in Japanese)
- Bilodeau, B., Boulay, M. B., and Roy, B. (1992) Propulsive and gliding phases in four cross-country skiing techniques. *Med. Sci Sports. Exerc.*, 24: pp. 917-925.
- Millet, G. Y., M. Hoffman, D. H., Candau, R. B., and Clifford, P. S. (1998). Poling forces during roller skiing: Effects of technique and speed. *Med. Sci Sports. Exerc.*, 30: pp. 1645-1653.
- Perrey, S., Millet, G. Y., Candau, R., and Rouillon J. D. (1998). Stretch-shortening cycle in roller ski skating: Effect of technique. *International Journal of Sports Medicine*, 19: pp. 513-520.
- Smith, G. A. (1992). Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Med. Sci Sports. Exerc.*, 24: pp. 1015-1022.
- Stöggl, T., Müller, E., and Lindinger, S., (2008) Biomechanical comparison of the double-push technique and the conventional skate skiing technique in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences*, 26: pp. 1225-1233.
- Stöggl, T. L., and Müller, E. (2009) Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed. *Med. Sci Sports. Exerc.*, 41: pp. 1476-1487.
- Takamatsu, J., Ae, M., and Fujii, N. (1997). A DLT procedure using pan and tilt cameras for large measurement volumes in three-dimensional videography. *Japan Journal of Physical Education*, 42: pp. 19-29. (in Japanese)
- Winter, D. A. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley and Sons Inc.: New York, pp. 41-43.

**クロスカン트리スキーのスタート局面におけるクラシカル走法の技術の特徴**  
**Characteristics of classic style technique during starting phase**  
**in cross-country skiing**

藤田善也<sup>1)</sup>, 石毛勇介<sup>2)</sup>, 吉岡伸輔<sup>3)</sup>, 衣笠竜太<sup>1,5)</sup>, 土屋純<sup>4)</sup>

Zenya Fujita<sup>1)</sup>, Yusuke Ishige<sup>2)</sup>, Shinsuke Yoshioka<sup>3)</sup>, Ryuta Kinugasa<sup>4,5)</sup>, Jun Tsuchiya<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

<sup>2)</sup>国際武道大学体育学部

<sup>3)</sup>立命館大学スポーツ健康科学部

<sup>4)</sup>早稲田大学スポーツ科学学術院

<sup>5)</sup>理化学研究所

<sup>1)</sup> Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

<sup>2)</sup> Faculty of Physical Education, International Budo University

<sup>3)</sup> Faculty of Sport and Health Science, Ritsumeikan University

<sup>4)</sup> Faculty of Sport Sciences, Waseda University

<sup>5)</sup> RIKEN

キーワード: 滑走速度, ストライド, ピッチ, ダイアゴナル走法, ダブルポーリング走法

**抄 録**

本研究は、クロスカン트리スキー競技クラシカル種目のスタート局面におけるダブルポーリング走法およびダイアゴナル走法をキネマティクスの手法を用いて解析し、それぞれの走法の特徴を明らかにすることで、加速局面においてより高い滑走速度を得るための示唆を得ることを目的とした。被験者は、日本代表を含む大学クロスカン트리スキー競技者 5 名とした。被験者には、雪上での 50m の直線コースにおいて、ダブルポーリング走法およびダイアゴナル走法、さらに被験者が最も滑走速度が高くなるように前述の 2 走法を自由に組み合わせた試技(以下、コンビネーション試技)を用いて静止した状態から最大努力で滑走させた。被験者の実施をレーザー瞬時速度測定器と高速度ビデオカメラを用いて記録し、50m の所要時間、10m 毎の平均速度および最高速度、総サイクル数、ピッチおよびストライドを算出した。その結果、(1) 50m の所要時間に差はみられなかった、(2) 最高速度はダブルポーリング走法がダイアゴナル走法と比較して有意に高値を示した、(3) 滑走速度は、10-20m 区間においてはダイアゴナル走法がダブルポーリング走法より有意に高値を示し、(4) 30-50m 区間においてはダブルポーリング走法がダイアゴナル走法より有意に高値を示した、(5) コンビネーション試技は、スタート直後にダイアゴナル走法を実施し、その後ダブルポーリング走法に切り替えて実施されていた。以上の結果から、クラシカル種目におけるスタート局面では、まずスタート直後の加速に優れるダイアゴナル走法を用いて、次にダイアゴナル走法より最高速度の高いダブルポーリング走法に切り替えるというコンビネーション技術が、高い滑走速度を得るために重要となることが示唆された。

後からダブルポーリングを用いる選手も見受けられる。一方で、K-ダブルポーリング走法を用いたスタートは見受けられない。このことは、先にも述べたとおり、K-ダブルポーリングが速度とピッチの獲得に優れていないためであると考えられる。つまり選手は、スタート時の加速局面において、スタートダッシュを用いて他の選手よりも先行するだけでなく、その後のレースストラテジーを想定しながら、効率よく、且つ、高い滑走速度を獲得するために最適な滑走技術を選択していることが考えられるが、選手がどの走法をいつの地点で実施しているのか、走法の切り替えが行われているのか、などの特徴は明らかになっていない。

2010 年バンクーバーオリンピック男子スプリント競技において 30 位までの決勝トーナメント出場者を決する予選では、30 位の選手と 31 位の選手のタイム差はわずか 0.10 秒であった(F.I.S.公式記録より, <http://www.fis-ski.com/>)。また一斉スタートで行われる準々決勝の全 5 レース中 3 レース、準決勝の全 2 レース、および決勝の 1 レースでは、写真判定によって勝敗が決定されている(テレビ中継映像より)。これらの結果からスプリント競技は、コンマ数秒を競う種目であることが伺える。一方で、決勝トーナメントのスタート局面をみると、スタート動作に優れる選手と劣る選手ではスタートの数秒後にスキー板 2 本分(およそ 4m に相当)以上の差がついていることが確認できる(テレビ中継映像より)。つまり、スタート技術の向上によってコンマ数秒の時間短縮は十分に可能であり、より高い競技パフォーマンスを獲得できる可能性があるといえる。そこで本研究は、スタートの加速局面におけるダブルポーリングとダイアゴナルの走法の特徴を明らかにし、より高い滑走速度を得るための示唆を得ることを目的とした。

## II. 方法

### 1. 被験者

被験者は、日本代表を含む大学クロスカントリースキー競技者 5 名(年齢  $20.2 \pm 0.8$  歳, 身長  $174.4 \pm 5.5$  cm, 体重  $71.9 \pm 3.1$  kg)であった。実験に先立って、東京大学倫理審査委員会の承認を受けた。各被験者に本研究の目的と実験方法を説明した上で、実験のインフォームドコンセントを得た。

### 2. データの取得

実験には、平坦に整備されたクロスカントリースキーのクラシカル専用コースの平地 50m を使用した。実験試技は、ダブルポーリングおよびダイアゴナルと、被験者が最も滑走速度が高くなるように前述の 2 走法を自由に組み合わせた試技(コンビネーション: 以下コンビ)の計 3 種類とした。なお、K-ダブルポーリングは、スタート局面において一般的に実施されていないことから、解析対象から除外した。各試技は、スタート地点に被験者を静止させ、スタート地点から 50m 地点通過までを最大努力で滑走させた。スタート地点後方 10m からレーザー瞬時速度測定器(LAVEG-Sports, JENOPTIK 社製)を用いて滑走速度を試技ごとに測定した。また各試技とも側方から高速度ビデオカメラ(EX-F1, Casio 社製)を用いて毎秒 300 フレーム、露出時間 1/1000 秒によりパンニング撮影をした。各走法につき 2-5 回の試行を行い、最も滑走速度の高かった 1 試技を分析対象とした。各被験者とも、試行間に 5 分間以上の休息をさせた。なお、実験は、全被験者のすべての試技を同じ日に実施した。実験に用いたコースの雪質は固く、実験前後にコースの相違はみられなかった。



### 3. 分析項目

レーザー瞬時速度測定器から得られた腰部の変位は、バターワースデジタルフィルタを用いて遮断周波数 3 Hz で平滑化し、スタートから 50m 通過までの所要時間、10m ごとの平均速度を算出した。また、被験者ごとに 10m の平均速度の中から最も高い速度を最高速度とした。側方のカメラ映像から 30m 地点のリファレンスマーカー上を腰部が通過した時点と腰部の位置がスタートから 30m を超えた時点を、腰部の変位とカメラ映像との同期地点とした。同期させたカメラ映像を用いて、ボールの接地を 1 サイクルの開始とし、次のボールの接地を 1 サイクルの終了として、両時点のフレーム数と腰部の変位から各試技の総サイクル数、1 サイクルごとの滑走速度およびピッチを算出した。さらに 1 サイクルごとの滑走速度とピッチから 1 サイクルごとのストライドを算出した。

### 4. 統計処理

各測定項目は平均値±標準偏差で示した。50m の所要時間、最高速度、総サイクル数および 10m ごとの滑走速度の比較には、ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いた。危険率は、5 % 未満を有意として判定した。

## III. 結果

### 1. 所要時間、最高速度と総サイクル数

各試技における 50m 所要時間、最高速度、総サイクル数は、表 1 に示した。50m 所要時間には、有意差は認められなかった。最高速度は、ダブルポーリングがダイアゴナルと比較して有意に高値を示した。総サイクル数は、ダイアゴナルがダブルポーリングと比較して有意に高値を示した。

表 1 各走法の 50m 滑走時の所要時間、最高速度、総サイクル数

	ダブルポーリング	ダイアゴナル	z	p	コンビネーション
50m所要時間 (s)	9.39±0.59	9.15±0.39	0.67	0.500	9.00±0.65
最高速度 (m/s)	6.90±0.26	6.80±0.31	2.02*	0.043	7.05±0.40
総サイクル数 (times)	12.33±1.03	20.17±1.60	2.04*	0.041	16.33±0.52

各走法の値は、平均値±標準偏差で示した。\*:  $p < 0.05$  (両側検定)  
コンビネーションは参考値として掲載した。

### 2. コンビネーション試技

2 走法を自由に組み合わせたコンビでは、全被験者ともスタート直後にダイアゴナルを実施しており、その後 1 名が 9 サイクル目にダブルポーリングへと走法の切り替えを行っており、他の 4 名は 11 サイクル目にダブルポーリングへと走法の切り替えを行っていた。つまり本研究ではコンビはダイアゴナルからダブルポーリングへと走法を切り替えて滑走する試技であったことが確認された。

### 3. 速度曲線

図 2 は各走法におけるスタートから 50m までの 1 サイクルごとの速度の平均値と標準偏差を示したものである。すべての走法において、スタート直後から急激な速度の増加がみられ、20m 付近からは滑走距離の増加に伴って緩やかな速度の増加がみられる。速度曲線の平均値をみるとスタート直後からコンビおよびダイアゴナルが高い速度を示しており、次いでダブルポーリングが高値を示した。

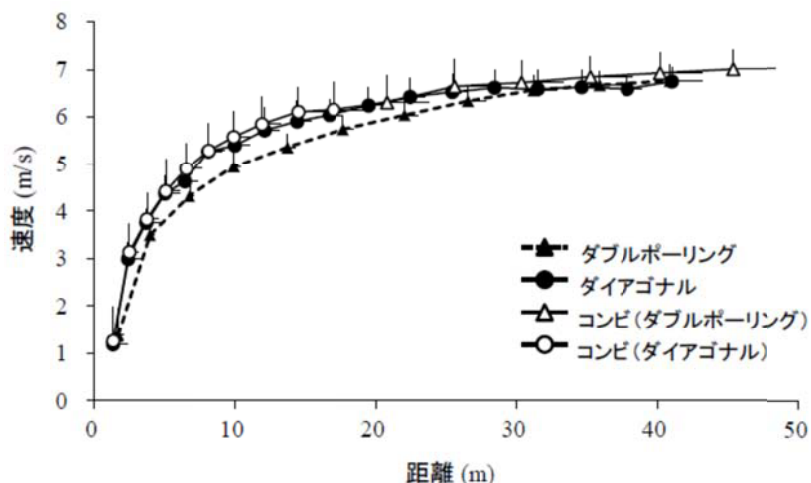


図 2 各走法の 1 サイクル毎の速度の変化

#### 4. ストライドとピッチ

図 3 は各走法におけるストライドの平均値と標準偏差を示したものである。ストライドは各走法ともスタートから 50m 地点まで徐々に増加していた。ダイアゴナルのストライドが短く、ダブルポーリングのストライドが長いという特徴が示された。図 4 は各走法におけるスタートから 50m までの 1 サイクルごとのピッチの平均値と標準偏差を示したものである。ダイアゴナルのピッチには、スタート直後から急激なピッチの増加がみられ、その後に低下

し、11 サイクル目以降はほぼ一定であった。ダブルポーリングのピッチには、急激な変化はみられなかった。2 走法を比較すると、ダブルポーリングのピッチが低く、ダイアゴナルのピッチが高い特徴が示された。コンビのストライドおよびピッチは、スタートから 15 m 付近まではダイアゴナルと同様の傾向を示し、走法をダブルポーリングへと変更した 25 m 以降はダブルポーリングとほぼ同様の傾向を示した。

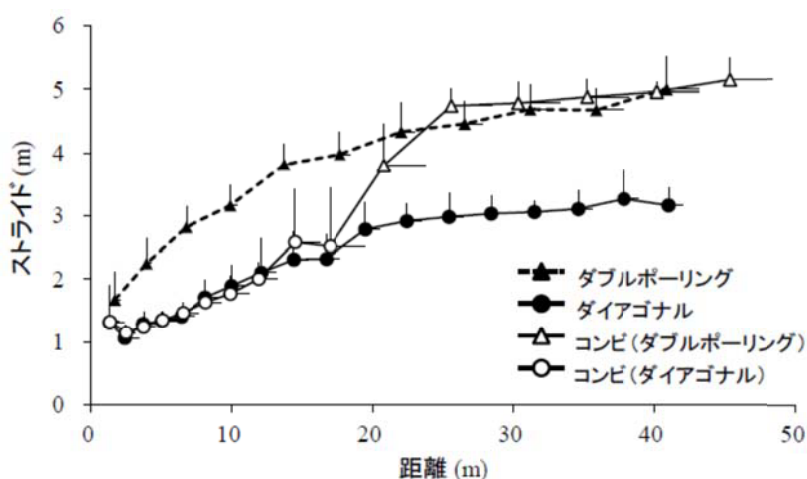


図 3 各走法の 1 サイクル毎のストライドの変化

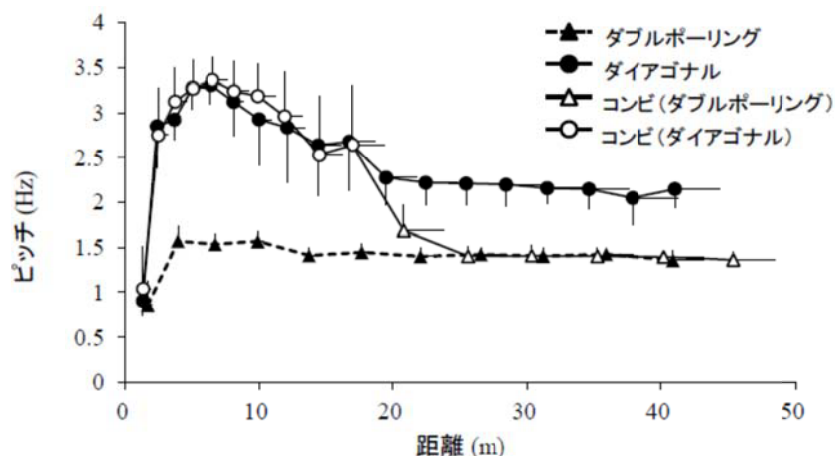


図 4 各走法の 1 サイクル毎のピッチの変化

## 5. 走法間の速度の変化

図 5 はダブルポーリングおよびダイアゴナル走法の 10m 区間ごとの速度の分布を示したものである。ウィルコクソンの符号順位検定の結果、10-20m 区間においてダイアゴナルがダブルポー

リングと比較して有意に高値を示した。また、30-40m および 40-50m 区間においてはダブルポーリングがダイアゴナルと比較して有意に高値を示した。

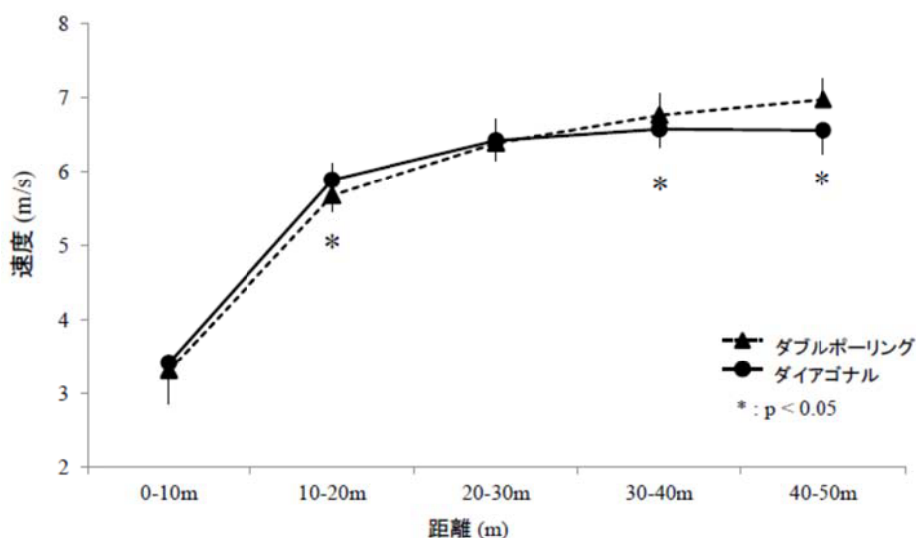


図 5 ダブルポーリング走法とダイアゴナル走法のスタート局面における 10m ごとの滑走速度の比較

## IV. 考察

### 1. ダブルポーリングおよびダイアゴナル走法の特徴

本研究では、スタート時の加速局面において最適な走法を明らかにするために、クラシカル種目で用いられる 2 走法の 50m の所要時間を比較した。その結果、所要時間には走法間に有意差

はみられず、50m の滑走時に突出して優れた単一の走法はなく、ほぼ同程度の時間で滑走できることが示された。しかしながら、最高速度や総サイクル数、ストライド、ピッチの結果をみると 2 つの走法の特徴は異なっていることから、各走法の長所と短所が相互に影響し合った結果、同程度の時間で滑走がなされたことが推察される。したが

って、各走法の特徴を明らかにした上で、スタートからの加速に有効な走法について考察する。

### 1). ダブルポーリング走法

ダブルポーリングおよびダイアゴナルは、1サイクル毎の速度曲線をみると、スタート後に急激な増加がみられる点では一致する。しかし、総サイクル数、ストライドおよびピッチからみると、異なる特徴を持つ走法であるといえる(表 1, 図 2, 3, 4)。ダブルポーリング中のストライドは、滑走距離が伸びるにつれて増加しているが、ピッチには変化がみられなかった。これらのことからダブルポーリングは、スタート局面において、ストライドを増加させることで加速を行っている走法といえる。スタートからの速度増加の程度はダイアゴナルに比べて比較的緩やかに増加しており、最高速度に到達するまでに、比較的長い距離を要することが示唆された。一方で 30-50m 区間ではダイアゴナルより高い速度を獲得していた。これらのことからスタート局面において、ダブルポーリングは高い速度を獲得できるが、加速にはある程度の距離および時間が必要な走法であることが示唆される。

### 2). ダイアゴナル走法

ダイアゴナルは、ダブルポーリングと比較するとストライドが低く、ピッチが高い走法であるといえる(図 3, 4)。図 3 をみると、ストライドはダブルポーリングと同様に滑走距離が伸びるにつれて増加している。一方、図 4 をみると、ピッチはスタート直後に急激な増加を示しており、ダブルポーリングとは異なる特徴を持つことが明らかである。これらのことからダイアゴナルは、スタート局面において、ピッチを急激に増加させながらストライドを増加させることで加速を行っている走法といえる。速度の変化をみると、20-30m 区間で最高速度に近い速度まで達しており、ダブルポーリングと比較すると高い速度を獲得するまでに必要な距離は比較的

短いといえる。しかしながら 30-50m 区間ではダブルポーリングと比較して低値を示しており、30m 以降はダブルポーリングより滑走速度に劣る走法であるといえる。これらのことからスタート局面において、ダイアゴナルはスタート直後の加速に優れた走法であることが示唆される。

### 2. コンビネーション試技の検討

コンビ試技時においては、指示していないにもかかわらず、全被験者がダイアゴナルからダブルポーリングへと走法の変更を行っていた。このことは、選手がコンビ動作を経験則などから直感的に採用しているか、あるいはトレーニングの過程において指導者に指摘されて、より滑走速度を高めやすい切り替えを実施していることを示唆するものである。そこで、各被験者に聞き取り調査を実施したところ、全被験者が指導を受けていないという内証が得られた。つまり、スタート時において、ダイアゴナルからダブルポーリングへと走法を切り替える手段は、トレーニングの過程において指導者に指摘されているというよりもむしろ、選手の直感によって一般的に行われているといえる。そこでスタート直後に行われるダイアゴナルとその後に切り替えて実施されるダブルポーリングの 2 つの走法の特徴を踏まえた上で、コンビ試技時における切り替えの利点について検討する。図 2 をみると、30m 付近においてダイアゴナルとダブルポーリングとの速度曲線が交差しており、ダブルポーリングがダイアゴナルの速度に達したことが示されている。また、コンビとダイアゴナルの速度曲線(図 2)をみると、25m まではほぼ同様の変化を示しているが、25 m 以降にコンビがダイアゴナルよりやや上方へと伸びていることがわかる。さらに 10-20m 区間においてはダイアゴナルがダブルポーリングより優れており、40-50m 区間においてはダブルポーリングがダイアゴナルより優れていること(図 5)を踏まえると、コンビでは、まず加速に有

利なダイアゴナルを用いることでスタート直後に高い速度を獲得し、次にダブルポーリングへと走法を変更することでダイアゴナルでは頭打ちとなる30m以降においても、より高い速度を獲得していることが推察される。

一方で、参考値として示したコンビの所要時間と最高速度は、ダブルポーリングやダイアゴナルとほぼ同等の値を示した(表 1)。このことは、ダブルポーリングとダイアゴナルが有する加速に有利な特徴を生かしたコンビを実施しても、単一の走法との差がないといえる。つまり 2 走法の有利な特徴を生かしても、走法の切り替え動作そのものが、滑走速度の増加を妨げる一要因となっていることが考えられる。図 2 をみると、コンビ試技時において、走法が変更された 20m 地点の速度曲線が一度平行になっていることが確認できる。また同時に切り替え動作直後の 11 サイクル目のストライド(図 3)が、単一の走法の値には達していない。したがって、コンビ実施の利点を生かすためには、ダブルポーリングへの切り替え直後に単一の走法程度のストライドを獲得し、一連の滑走速度を低下させない技術を身につけることが、重要であるといえる。

ここで、実際の競技場面を想定すると、短距離種目であるスプリント競技においても約 1 km を滑走しなければならないことから、加速局面においては最高速度を獲得すると同時に、疲労を極力蓄積しない走法を選択することが重要となる。Mittelstadt et al.(1995)は、傾斜 1.7%の緩やかな上り坂における同一速度(67, 94, 121, 148, 174 m/min)下でダブルポーリングとダイアゴナル滑走中の血中乳酸濃度を比較した結果、走法間に有意差がないことを示している。しかしこの報告では滑走後の血中乳酸濃度が  $2.0\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  程度であり、Mognoni et al.(2001)や Mygind et al.(1994)が示したクロスカントリースキー競技の試合後の血中乳酸濃度( $9.2\text{--}14.0\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ )と比較すると

設定された運動強度が低かったため、走法間の血中乳酸濃度に差がなかったことが考えられる。一方、別の研究(Saibene et al.(1989), Hoffman et al.(1990))では、平地における同一速度( $14.2\text{ km/h}$ )下でダブルポーリングとダイアゴナル滑走中の心拍数と酸素摂取量を比較した結果、ダイアゴナル滑走中の心拍数と酸素摂取量はダブルポーリングよりも有意に高値であることが示されている。つまり、平地の同一速度下において、ダイアゴナルはダブルポーリングよりも運動強度が高く、長い時間にわたって運動を継続するための運動効率に優れない走法であることが推察される。これらのことを踏まえると、加速局面でコンビにおいてダイアゴナルからダブルポーリングへの切り替えが行われたことは、走法の切り替えによって滑走速度を減少させるリスクを伴いながらも、運動を持続しやすいダブルポーリングを実施することで、その後の滑走を有利にする方策を選択したと考えられよう。

本研究は、スタートの加速局面のみに焦点を当てたが、レース全般にわたって、単一の走法で滑走することは少なく、走法を切り替えるのが一般的である。選手は、高い速度を維持しながら滑走を継続できる走法をコースの雪質や斜度に応じて選択しており、切り替えのタイミングの技術も競技成績と大きく関わっていると考えられる。この点については、今後より詳細な研究が必要である。

## V. 結論

本研究は、クロスカントリースキー競技クラシカル種目の加速局面におけるダブルポーリング走法およびダイアゴナル走法を比較し、それぞれの走法の特徴を明らかにすることで、加速局面においてより高い滑走速度を得るための示唆を得ることを目的とした。その結果、ダイアゴナル走法がスタートからの加速に最も優れた走法であること、加

速局面後期にはダブルポーリング走法がダイアゴナル走法より滑走速度の獲得に有利な走法であることが明らかとなった。またスタート局面においてスタート直後にダイアゴナル走法を行い、その後、ダブルポーリング走法に走法を切り替える滑走技術は、高い滑走速度を得るために合理的に選択された動作であることが示唆された。

## 参考文献

- ・ Bilodeau B., Rundell, K. W., Roy, B., Boulay, M. R.: Kinematics of cross-country ski racing, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28: 128-138, 1996.
- ・ Hoffman, M. D., Clifford, P. S.: Physiological responses to different cross country skiing techniques on level terrain, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22: 841-848, 1990.
- ・ Hoffman, M. D., Clifford, P. S., Bender, F.: Effect of velocity on cycle rate and length for three roller skiing techniques, *Journal of Applied Biomechanics*, 11: 257-266, 1995.
- ・ 小林規: 交互滑走の動作分析, *体育の科学*, 33: 895-899, 1980.
- ・ Mittelstad, S. W., Hoffman, M. D., Watts, P. B., O'Hagan, P., Sulentic, J. E., Drobish, K. M., Gibbns, T. P., Newbury, V. S., Clifford, P. S.: Lactate response to uphill roller skiing: diagonal stride versus double pole techniques, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27: 1563-1568, 1995.
- ・ Mognoni, P., Rossi, G., Gastaldelli, F., Canclini, A., Cotelli, F.: Heart rate profiles and energy cost of locomotion during cross-country skiing races, *European Journal of Applied Physiology*, 85: 62-67, 2001.
- ・ Mygind, E., Andersen, L. B., Rasmussen, B.: Blood lactate and respiratory variables in elite cross-country skiing at racing speeds, *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 4: 243-251, 1994.
- ・ Rusko, H.: *Cross Country Skiing*, Blackwell Science, 32-61, 2003.
- ・ Saibene, F., Cortili, G., Roi, G., Colombini, A.: The energy cost of level cross-country skiing and the effect of the friction of the ski, *European Journal of Applied Physiology*, 58: 791-795, 1989.
- ・ Stöggl, T. L., Müller, E.: Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41: 1476-1487, 2009.
- ・ 鈴木典: クロスカントリースキー — 腕を使って速く滑る —, *体育の科学*, 58: 788-793, 2008.

日本体育学会第 59 回大会. 05-12-15102-11. 早稲田大学, 東京都. 2008 年 8 月.

## クロスカンリースキーの V2 スケーティング動作における運動力学的分析

○藤田善也(早稲田大学大学院)、石毛勇介(国際武道大学)、吉岡伸輔(東京大学)、  
深代千之(東京大学)、磯 繁雄(早稲田大学)

【目的】本研究の目的は、クロスカンリースキー競技の V2 スケーティング動作(以下 V2S)における加速のメカニズムを、kinetics および kinematics から検討することであった。【方法】被験者には、日本代表を含む大学生競技者 5 名を用い、実験試技として低速および高速の V2S を行わせた。スキーおよびポールにかかる力は、それぞれの用具を加工し、ストレインゲージを貼り付けることによって計測した。また、スケーティング動作を 3 次元動作分析し kinematics を算出した。【結果】1)高速滑走は低速滑走と比較して、1 サイクル中のピッチが有意に増加したが、ストライドは減少した。2)スキーから計測されたキック動作の力積は、条件間で大きな変化はなかったが、高速滑走時のキック動作では、大きく反動を用いる傾向が見られた。3)ポールから計測されたプッシュ動作の力積は、高速滑走時に高値を示したが、プッシュ時間に大きな変化はなかった。【結論】V2 スケーティング動作においては、滑走中のピッチを高くすること、およびポールの力積を増加することによって、高い滑走速度を獲得していることが示唆された。

日本体育学会第 60 回大会記念大会. 05-28-K205-2. 広島大学, 広島県. 2009 年 8 月.

## クロスカン트리スキーの V2 スケーティング動作中の 滑走速度と力成分の関係

○藤田善也(早稲田大学大学院)、石毛勇介(国際武道大学)、吉岡伸輔(東京大学)、  
磯繁雄(早稲田大学)、深代千之(東京大学)、土屋純(早稲田大学)

本研究の目的は、クロスカン트리スキー競技の V2 スケーティング動作中の力成分を滑走速度の異なる試技間で比較し、滑走速度との関係を明らかにすることであった。被験者には、女子大学生競技者 5 名を用い、実験試技として低速、中速および高速の V2 スケーティング動作を行わせた。滑走中の力成分は、ポールおよびローラースキーを加工し、ストレーンゲージを用いたセンサーによって計測した。

その結果、滑走速度の増加によって、1) 1 サイクル中のストライドは有意な増加を示した。またピッチは顕著に有意な増加を示した。2) ポールとローラースキーの接地時間が有意に減少した。3) ポールおよびローラースキーの力のピーク値および平均値が有意に増大した。これらのことから V2 スケーティング動作中は、滑走速度を高めるためにキック直前に抜重を行うことでピーク値を高めた強いキック動作を行っていることが示唆された。



**The 2nd International Sport Science Symposium on "Active Life".**

**Waseda University, Japan. 2010. Mar.**

**Relationship between reaction force and velocity during the V2-skate  
technique in cross-country skiing -roller ski study-**

**○Zenya Fujita<sup>1</sup>, Jun Tsuchiya<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> Graduate school of Sport Sciences, Waseda University,**

**<sup>2</sup> Faculty of Sport Sciences, Waseda University**

The use of the “V2-skate” technique in cross-country skiing can determine success or failure. The purpose of this study was to examine the impact of different pole and ski reaction forces on several velocities during V2-skate. Five elite female skiers were fitted with a sensor system for measuring specific forces. The velocity, cycle length, cycle rate, pole and roller ski contact time, and peak, mean, and lowest ski reaction forces were analyzed at several velocities. The cycle rate and peak kick force increased with velocity ( $P < 0.05$ ). The cycle length, mean force, and pole and glide contact time in high-speed trials were significantly different from those in medium-speed trials ( $P < 0.05$ ). The lowest ski reaction force was significantly different from that in the medium-speed trials ( $P < 0.05$ ). The main findings of the study are as follows: (1) elite skiers increased their velocity as the cycle length and cycle rate increased; (2) the cycle length was increased at high velocities by increasing the propulsive forces during poling and the kick phase; (3) the cycle rate was increased at high velocities by increasing pole and ski contact times; and (4) counter movement was used to increase velocity.

# Relationship between reaction force and velocity during the V2-skate technique in cross-country skiing -roller ski study-



Zenya Fujita, Jun Tsuchiya

## Abstract

The use of the "V2-skate" technique in cross-country skiing can determine success or failure. The purpose of this study was to examine the impact of different pole and ski reaction forces on several velocities during V2-skate. Five elite female skiers were fitted with a sensor system for measuring specific forces. The velocity, cycle length, cycle rate, pole and roller ski contact time, and peak, mean, and lowest ski reaction forces were analyzed at several velocities. The cycle rate and peak kick force increased with velocity ( $P < 0.05$ ). The cycle length, mean force, and pole and glide contact time in high-speed trials were significantly different from those in medium-speed trials ( $P < 0.05$ ). The lowest ski reaction force was significantly different from that in the medium-speed trials ( $P < 0.05$ ). The main findings of the study are as follows: (1) elite skiers increased their velocity as the cycle length and cycle rate increased; (2) the cycle length was increased at high velocities by increasing the propulsive forces during poling and the kick phase; (3) the cycle rate was increased at high velocities by increasing pole and ski contact times; and (4) counter movement was used to increase velocity.

## Introduction

The V2-skate technique (V2-skate) involves a double poling action in each skating stroke. In V2-skate, the cycle rate is low and the stride length is relatively large compared to the stride lengths in V1- and open field skate. Therefore, many athletes use V2-skate when they want to accelerate or when they are close to the finish line (Bilodeau et al., 1992; Millet et al., 1998a, 1998b).

V2-skate has been examined by some researchers from the viewpoint of mechanics. Smith (1992) examined the pole and ski reaction forces during V2-skate. They showed that the profiles of the ski reaction force were bimodal and the peak forces were about 1000 N. However, the pole reaction forces were monomodal and bilaterally asymmetrical. The right and left forces were about 470 and 220 N, respectively. Stöggl et al. (2008) revealed that the peak ski reaction forces (1029 N) during V2-skate are greater than the pole forces (286 N). In other words, the skiing technique also plays an important role in achieving high velocity. However, the relation between ski reaction force and skiing velocity during V2-skate has not been examined.

Therefore, the purpose of this study is to reveal the relation between ski reaction force and skiing velocity during V2-skate. The findings of this study will be useful for the clarification of the mechanisms of V2-skate.

## Methods

■ Subjects were Five elite female cross-country skiers (age,  $20 \pm 1.2$  yrs; height,  $155.8 \pm 3.4$  cm; weight,  $54.7 \pm 4.3$  kg).

■ Specially made sensors were mounted on the right and left poles (Figure 1). The sensor was designed to measure the force along the long axis of a pole. To measure the ski reaction force acting on the roller ski, strain gauges were attached to the front and rear of the frames of the right and left roller-skis.

■ All subjects rode the roller-skis wearing a backpack containing a data logger, amplifiers for the pole and ski sensors, and a battery for the amplifiers. (Figure 2).

■ Pole and ski reaction forces were divided into several phases (Figure 3). The bimodal peak values during the glide and kick phases were defined as the peak force during each phase. The lowest value after peak force during the glide phase was defined as the lowest ski reaction force.

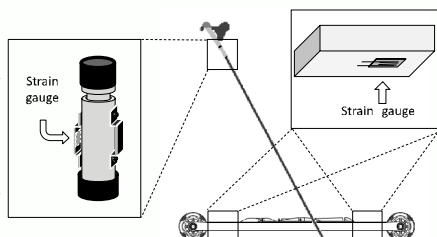


Figure 1 Settings for pole and roller ski sensors

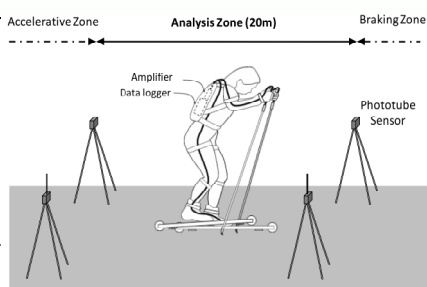


Figure 2 Settings for data collection

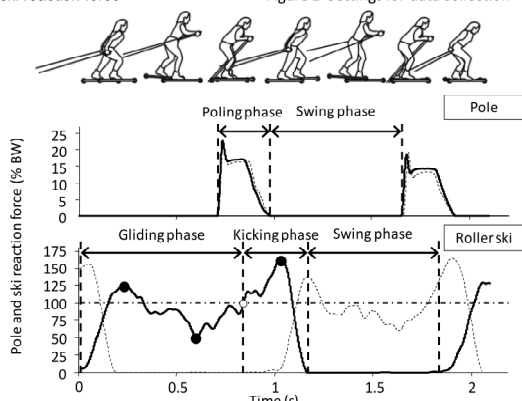


Figure 3 The definitions of the "Poling phase", "Glide phase" and "Kick phase". Each roller ski forces were determined based on the body weight (100%BW).

## Results

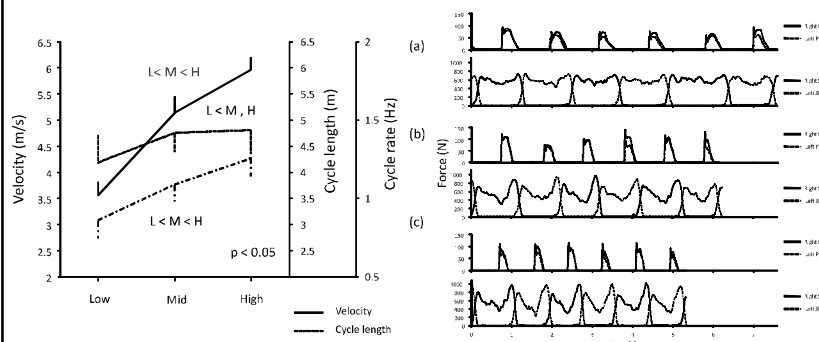


Figure 4 Velocity, cycle length and cycle rate.

- The velocities for high-speed, medium-speed, and low-speed trials were significantly different.
- The cycle length increased as velocity increased.
- The cycle rates decreased as velocity increased.
- The profiles for ski reaction force changed as velocity changed. However, the profiles for poling force during low-, medium-, and high-speed trials were relatively similar.

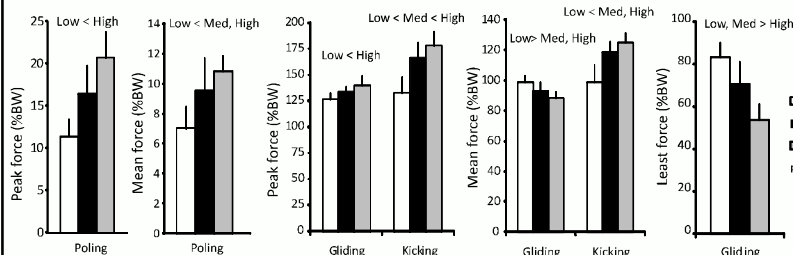


Figure 6 Pole peak and mean forces.

- The peak and mean poling force increased as velocity increased.
- The peak ski reaction forces during the glide and kick phases increased as velocity increased.
- The lowest ski reaction forces during the glide phase decreased as velocity increased.
- The mean ski reaction forces during the glide phase also decreased as velocity increased.

## Discussion

In this study, the relation between ski reaction force and skiing velocity during V2-skate was revealed. The average and peak force increased as velocity increased, and lowest ski reaction force decreased as velocity decreased. In other words, bimodal profiles of the ski reaction force appeared as velocity increased. These results indicate that the subjects used counter movement to increase velocity. This result is supported by a study based on electromyography (EMG) (Perrey et al. (1996)). Perrey et al. measured the EMG of the vastus lateralis muscle during V2-skate. In the glide phase, it was observed that the vastus lateralis muscle was activated before knee extension. In other words, the vastus lateralis muscle was in a state of eccentric contraction. This result indicates that counter movement was used in the glide phase.

In this study, the cycle length and cycle rate increased as velocity increased. In cross-country skiing, an increase in velocity is connected to both cycle length and cycle rate (Millet et al., 1998; Stöggl et al., 2009). These results indicate that it is important to apply a large exertion force within a short period of time in order to increase velocity. In other words, the ability to generate power is important for improving race performance.

The profile of ski reaction force generally has bimodal characteristics (Smith, 1992; Stöggl et al., 2008). The results of medium- and high-speed trials agree with those of previous studies. On the other hand, in low-speed trials, the bimodal characteristic was not observed. This result suggests that the main propulsive force is generated by poling rather than by kicking, since a limited exertion force is sufficient to achieve a low velocity.

Stöggl et al. (2008) indicated that a "flight phase" occurred at the maximal speed ( $7.35 \pm 0.60$ ) during a V2-skate for male elite cross-country skiers. On the other hand, in this study, although the lowest force decreased with a decrease in velocity, a flight phase did not occur at the maximal speed ( $5.95 \pm 0.22$  m/s). The maximal speeds and the gender of the subjects in our study were different from those in the study of Stöggl et al. (2008). Therefore, the difference in the results may be explained by the influence of gender on physical abilities and V2-skate techniques.

## Conclusion

The purpose of this study was to examine the impact of different pole and ski forces on velocity when the V2-skate technique is adopted for skiing. The main findings of the study are as follows: (1) elite skiers increased their velocity as the cycle length and cycle rate increased; (2) the cycle length was increased at high velocities by increasing the propulsive forces during poling and the kick phase; (3) the cycle rate was increased at high velocities by increasing the pole and ski contact times; and (4) counter movement was used to increase velocity.

### 3分間のクロスカントリースキー・ダブルポーリング滑走中の動作と力の変化

○藤田善也(早稲田大学大学院スポーツ科学研究科)、石毛勇介(国際武道大学)、吉岡伸輔(立命館大学)、  
田内健二(早稲田大学)、深代千之(東京大学)、土屋純(早稲田大学)

【緒言】 近年、クロスカントリースキー競技にスプリント種目 (0.8~1.5km) が開設され、より高い滑走速度で競技が行われるようになった。そのため、滑走技術の良し悪しが競技成績を左右する重要な因子となってきた。特にダブルポーリング走法は、クラシカル種目において最も高い速度で滑走できる特徴を持つため、その速度をできるだけ維持させることが競技成績を決定する上で重要である。したがって、時間の経過に伴う滑走速度の変化が、どのような動作の変化によってもたらされるのかを知る必要がある。しかし、このことを明らかにした研究は見当たらない。そこで本研究は、時間の経過に伴うダブルポーリング中の動作およびポーリング力の変化から、その様相を明らかにすることを目的とした。【方法】 被験者には5名のクロスカントリースキー競技選手を用い、1周320mのトラックにおける最大努力のダブルポーリング (以下、DP) 動作を、スプリント種目のおおよその競技時間である3分間実施させた。DP動作は、ハイスピードカメラ (EX-F1-Casio) を用いて左側方よりパンニング撮影した。30m付近 (以下、Lap 1) および670m付近 (以下、Lap 3) の映像を、2次元DLT法を用いてサンプリング周波数100Hzで動作解析し、2次元座標値を得た。得られた座標値は4次のバターワースデジタルフィルタによって平滑化した。ポールの接地から離地までをポーリング局面、離地から次の接地までをグライド局面として、1サイクルの身体重心速度、ストライド、ピッチ、ポールの接地位置および各局面の所要時間を求めた。1サイクル中の肩、肘、膝、足関節、大腿、体幹およびポーリング角度を算出し、ポーリング局面を0-30%、グライド局面を30-100%として規格化した。力センサを用いて、Lap1およびLap3のポーリング力を計測し、ポーリング角度を用いて鉛直方向と水平方向の成分に分力し、力積、力のピーク値および平均値を算出した。【結果および考察】 Lap3ではLap1と比較して、滑走速度およびピッチが有意に減少し、ポーリングおよびグライド時間が有意に増加したが、ストライドに変化はなかった。これらのことは、3分間のDP滑走では時間の経過に伴って、ポーリングおよびグライド時間が増加することでピッチが減少し、滑走速度が低下することを示唆するものである。動作についてみると、ポール接地時では、Lap3がLap1と比較して大腿角度が有意に減少し (図1)、接地時のポーリング角度が有意に増加した。また、肩、肘関節、体幹角度、およびつま先に対するポールの接地位置には変化がみられなかった。これらのことは、時間の経過に伴って、ポール接地時に身体がより直立位に変化したことを示唆するものである。ポーリング局面では、Lap3はLap1と比較して大腿角度が減少し、膝、足関節角度が有意に増加した (図1)。また、ポーリング中の鉛直および水平方向の力積が有意に増加し、力のピーク値および平均値が減少する傾向がみられた。これらのことは、時間の経過に伴って、より直立位の姿勢で、推進方向の力を発揮させにくい鉛直位の角度でポールを接地していたこと、さらにポーリングに伴う下肢の屈曲動作が減少したことを示唆するものである。ポーリング中の下肢の屈曲動作は、上肢と体幹を前方に押し出すことでポーリングをサポートする動きであることが考えられる。この動作が時間の経過に伴って減少した結果、ポーリング力の低下を招いたと考えられる。グライド局面では、Lap3はLap1と比較して大腿角度が減少し、膝関節角度が減少から増加に変化する傾向がみられ、足関節角度が有意に増加した (図1)。また、肩、肘関節、体幹角度には変化がみられなかった。これらのことは、時間の経過に伴って、大腿が前傾せずに、膝、足関節が伸展することで、直立位に上肢と体幹が起き上がり、次のポールの接地時に必要な身体の前傾が不十分になったことを示唆するものである。【結論】 3分間のダブルポーリング滑走中には、時間の経過に伴って身体がより直立位になり、下肢の屈伸によって上肢と体幹を十分に押し出す動きができなくなることで、ポーリング力が減少し、滑走速度が低下することが明らかとなった。

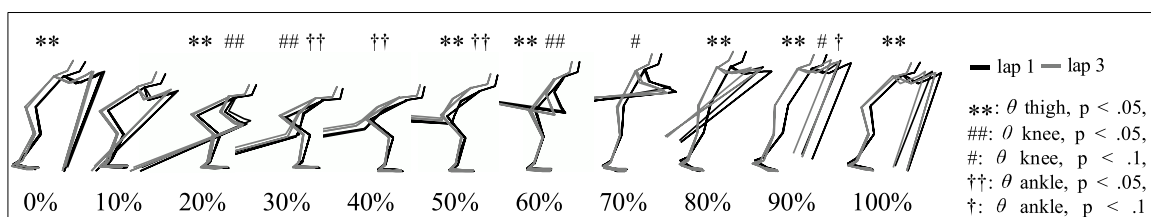


図1. スティックピクチャによる下関節角度の変化

日本体育学会第 61 回大会, 05-バ-1A-K02, 国士舘大学, 東京都. 2010 年 9 月.

## クロスカン트리ースキー競技の加速局面における滑走技術の比較

○藤田 善也 (早稲田大学大学院), 石毛 勇介 (国際武道大学), 田内 健二 (早稲田大学),  
吉岡 伸輔 (立命館大学), 深代 千之 (東京大学), 土屋 純 (早稲田大学)

近年、開設されたクロスカン트리ースキー・スプリント種目は予選と決勝トーナメントが行われる。この競技は、約 1km の短い距離の中でパフォーマンスを発揮するための戦術が重要であると考えられている。そこで本研究の目的は、クロスカン트리ースキー競技における 3 種類のクラシカル走法を比較し、スタート時の加速に有効な滑走技術を明らかにすることとした。被験者は、6 名のクロスカン트리ースキー競技選手を対象とした。50m の測定区間を設けて、ダブルポール走法、ワンキックダブルポール走法およびダイアゴナル走法による試技と、自身がベストと思われるタイミングで走法を変更させた試技(ベスト試技)をそれぞれ全力で行わせた。レーザー距離計(Laveg)を用いて滑走速度を算出した。また、ハイスピードカメラ(EX-F1, Casio)を用いて、滑走動作を撮影し、1 サイクル毎のピッチを測定した。算出されたピッチから 1 サイクル毎の滑走速度とストライドを算出し、走法間で比較した。その結果、ベスト試技が最も高い速度を示した。発表ではそれぞれの走法の特徴を滑走速度、ストライド、ピッチの違いから報告する。

**The 3rd International Sport Science Symposium on "Active Life", III-51.**

**Tokyo, Japan. Sep, 2010.**

**Time course changes of the kinematics and kinetics during double-poling technique  
in cross-country sprint skiing**

**○Zenya Fujita<sup>1</sup>, Jun Tsuchiya<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> Graduate school of Sport Sciences, Waseda University,**

**<sup>2</sup> Faculty of Sport Sciences, Waseda University**

The purpose of this study was to examine time course changes of the kinematics and the kinetics during double poling techniques in cross-country sprint skiing. Subjects (n=5) were performed 3 min maximal double poling on oval track (320m). The kinematic parameters were measured as the mean velocity, cycle length, cycle rate, duration over one cycle, which consists of poling (0% - 30% of one cycle) and gliding (30% - 100% of one cycle) phases. The segment angles were measured for the upper and forward arms, trunk, thigh, shank, foot, pole from the horizontal plane. Distance from the most proximal edge of the foot to the pole contact point, which defined here as pole contact length, was also calculated. For the kinetic parameters, the peak and mean forces and impulse of poles were analyzed. The velocity, cycle rate and peak and mean pole forces decreased significantly at 3<sup>rd</sup> lap compared with 1<sup>st</sup> lap of the round. In contrast, duration of the poling and gliding phases, impulse of pole and poling angle increased significantly at 3<sup>rd</sup> lap compared with 1<sup>st</sup> lap. There was no significant difference in the cycle length and pole contact length among laps. Thigh angle was greater and shank and foot angles were less at 3<sup>rd</sup> lap than at 1<sup>st</sup> lap in poling phase, indicating standing position while one cycle. In gliding phase, foot and thigh angles were greater and shank angle was less at 3<sup>rd</sup> lap than at 1<sup>st</sup> lap. These results suggested that double poling technique were changed to erect standing position the body and decreased flexing and extending action of legs with time course.



# Changes of sprint performance during double-poling technique in cross-country skiing

Zenya Fujita<sup>1</sup>, Jun Tsuchiya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Sport sciences, Waseda University, <sup>2</sup>Faculty of Sport Sciences, Waseda University

## Abstract

The purpose of this study was to examine time course changes of the kinematics and the kinetics during double poling techniques in cross-country sprint skiing. Subjects (n=5) were performed 3 minutes maximal double poling on oval track (320m). The kinematic parameters were measured as the mean velocity, cycle length, cycle rate, duration over one cycle, which consists of poling (0% - 30% of one cycle) and gliding (30% - 100% of one cycle) phases. The segment angles were measured for the upper and forward arms, trunk, thigh, shank, foot, pole from the horizontal plane. Distance from the most proximal edge of the foot to the pole contact point, which defined here as pole contact length, was also calculated. For the kinetic parameters, the peak and mean forces and impulse of poles were analyzed. The velocity, cycle rate and peak and mean pole forces decreased significantly at 3<sup>rd</sup> lap compared with 1<sup>st</sup> lap of the round. In contrast, duration of the poling and gliding phases, impulse of pole and poling angle increased significantly at 3<sup>rd</sup> lap compared with 1<sup>st</sup> lap. There was no significant difference in the cycle length and pole contact length among laps. Thigh angle was greater and shank and foot angles were less at 3<sup>rd</sup> lap than at 1<sup>st</sup> lap in poling phase, indicating standing position while one cycle. In gliding phase, foot and thigh angles were grater and shank angle was less at 3<sup>rd</sup> lap than at 1<sup>st</sup> lap. These results suggested that double poling technique were changed to erect standing position the body and decreased flexing and extending action of legs with time course.

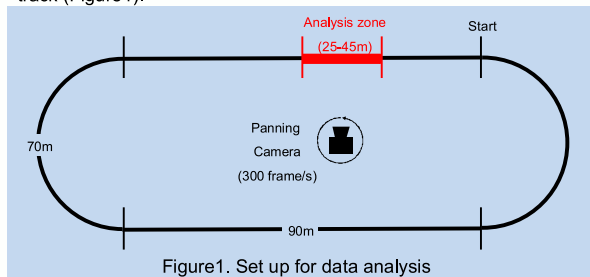
## Introduction

Ten years ago, sprint skiing events were introduced into the World Ski Championships, and subsequently some skiers have tried to adapt their skiing cross-country technique to the higher racing speeds attained during sprint skiing. The racing speed during double-poling technique is high, and many athletes use double-poling technique when they want to accelerate or when they are close to the finish line (Stöggl, et al., 2006). Thus, it is important that athletes keep the high level of the racing speed. However, no study could be found elucidating a relationship between the racing speed and the time course changes of kinematics and kinetics during double-poling technique.

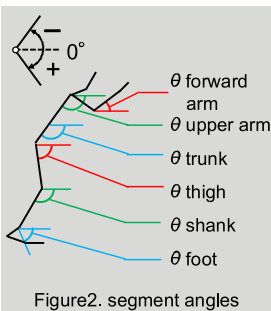
The purpose of this study was to examine time course changes of the kinematics and the kinetics during double poling techniques in cross-country sprint skiing.

## Methods

- Subjects (n=5) were performed 3 min maximal double poling on oval track (Figure1).



- The kinematic parameters were measured as the mean velocity, cycle length, cycle rate, duration over one cycle, which consists of poling (0% - 30% of one cycle) and gliding (30% - 100% of one cycle) phases. The segment angles were measured for the upper and forward arms, trunk, thigh, lower limb, foot, pole from the horizontal plane. Distance from the most proximal edge of the foot to the pole contact point, which defined here as pole contact length, was also calculated.
- The kinetic parameters, the peak and mean forces and impulse of poles were analyzed.



## Results

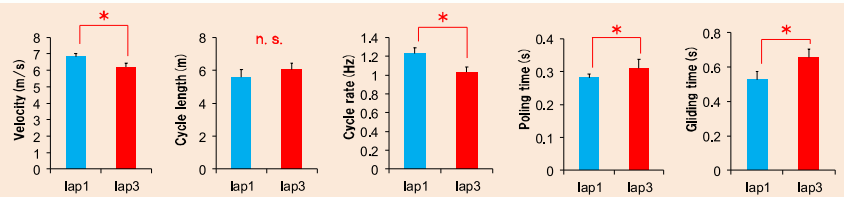


Figure4. Velocity, cycle length, cycle rate, poling and gliding time

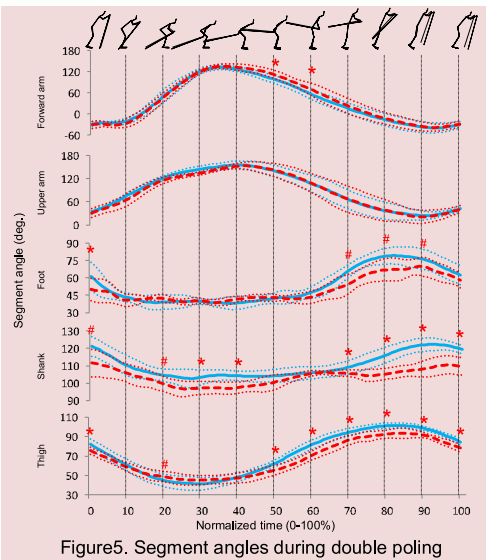


Figure5. Segment angles during double poling

- The velocity, cycle rate and peak and mean pole forces decreased significantly at 3<sup>rd</sup> lap compared with 1<sup>st</sup> lap of the round (Figure3, 4).
- In contrast, duration of the poling and gliding phases, impulse of pole significantly at 3<sup>rd</sup> lap compared with 1<sup>st</sup> lap (p<.05) (Figure3).
- There was no significant difference in the cycle among laps (p<.05) Figure 3).
- Thigh angle was greater and shank and foot angles were less at 3<sup>rd</sup> lap than at 1<sup>st</sup> lap in poling phase (p<.05) (Figure5).
- In gliding phase, foot and thigh angles were grater and shank angle was less at 3<sup>rd</sup> lap than at 1<sup>st</sup> lap (p<.05) (Figure 5).

## Discussion

- In poling phase, thigh angle was greater and shank and foot angles were less indicating standing position while one cycle.
- In, glide phase, foot and thigh angles were grater and shank angle was less indicating decreased flexing and extending action.

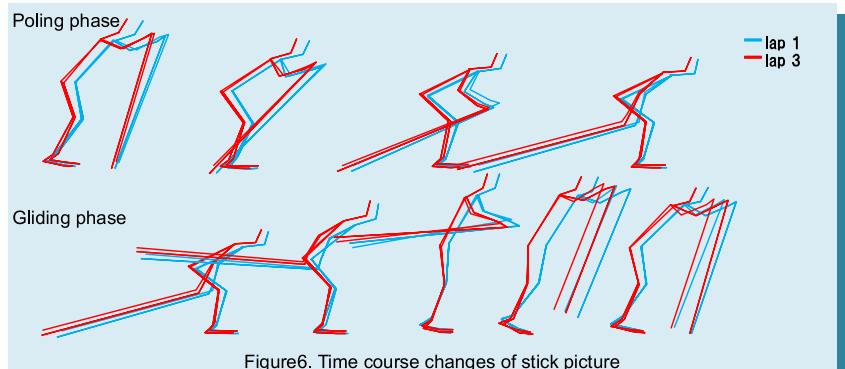


Figure6. Time course changes of stick picture

## Results

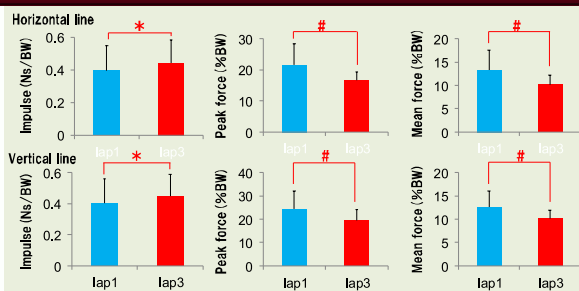


Figure3. The impulse, peak and mean forces during double poling.

## Conclusion

Double poling technique during sprint skiing were changed to erect standing position the body and decreased flexing and extending action of legs with time course.

## Time course changes of the kinematics and kinetics during double-poling technique in cross-country sprint skiing

○Zenya Fujita\*, Yusuke Ishige\*\*, Shinsuke Yoshioka\*\*\*, Kenji Tauchi\*\*\*\*, Jun Tsuchiya\*\*\*\*

\* Graduate school of Sport Sciences, Waseda University, Tokyo, Japan

\*\* Faculty of Physical Education, International Budo University, Chiba, Japan

\*\*\* Faculty of Sport and Health Science, Ritsumeikan University, Shiga, Japan

\*\*\*\* Faculty of Sport Sciences, Waseda University, Tokyo, Japan

**KEY WORDS:** racing speed, poling force, segment angle, sprint skiing

**INTRODUCTION:** Ten years ago, sprint skiing events were introduced into the World Ski Championships, and subsequently some skiers have tried to adapt their skiing cross-country technique to the higher racing speeds attained during sprint skiing. The racing speed during double-poling technique is high, and many athletes use double-poling technique when they want to accelerate or when they are close to the finish line(Stöggl, *et al.*, 2006). Thus, it is important that athletes keep the high level of the racing speed. However, no study could be found elucidating a relationship between the racing speed and the time course changes of kinematics and kinetics during double-poling technique. The purpose of this study was to examine time course changes of the kinematics and the kinetics during double poling techniques in cross-country sprint skiing.

**METHOD:** Subjects (n=5) were performed 3 min maximal double poling on oval track (320m). The kinematic parameters were measured as the mean velocity, cycle length, cycle rate, duration over one cycle, which consists of poling (0% - 30% of one cycle) and gliding (30% - 100% of one cycle) phases. The segment angles were measured for the upper and forward arms, trunk, thigh, shank, foot, pole from the horizontal plane. Distance from the most proximal edge of the foot to the pole contact point, which defined here as pole contact length, was also calculated. For the kinetic parameters, the peak and mean forces and impulse of poles were analyzed.

**RESULTS:** The velocity, cycle rate and peak and mean pole forces decreased significantly at 3rd lap compared with 1st lap of the round. In contrast, duration of the poling and gliding phases, impulse of pole and poling angle increased significantly at 3rd lap compared with 1st lap( $p<.05$ ). There was no significant difference in the cycle length and pole contact length among laps( $p<.05$ ). Thigh angle was greater and shank and foot angles were less at 3rd lap than at 1st lap in poling phase ( $p<.05$ ). In gliding phase, foot and thigh angles were greater and shank angle was less at 3rd lap than at 1st lap( $p<.05$ ).

**DISCUSSION:** In poling phase, thigh angle was greater and lower limb and foot angles were less indicating standing position while one cycle. In, glide phase, foot and thigh angles were greater and shank angle was less indicating decreased flexing and extending action.

**CONCLUSION:** The aim of this study was to examine time course changes of the kinematics and the kinetics during double poling techniques. Double poling technique during sprint skiing were changed to erect standing position the body and decreased flexing and extending action of legs with time course.

## REFERENCES

Stöggl, T., Lindinger, E., Müller, E. Reliability and validity of test concepts for the cross-country skiing sprint. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 586-591, 2006.

# Time course changes of the kinematics and kinetics during double-poling technique in cross-country sprint skiing

Zenya Fujita<sup>1</sup>, Yusuke Ishige<sup>2</sup>, Shinsuke Yoshioka<sup>3</sup>, Kenji Tauchi<sup>4</sup>, Jun Tsuchiya<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Sport sciences, Waseda University, Tokyo, Japan

<sup>2</sup>International Budo University, Chiba, Japan

<sup>3</sup>Ritsumeikan University, Shiga, Japan

<sup>4</sup>Faculty of Sport Sciences, Waseda University, Tokyo, Japan



## Introduction

Ten years ago, sprint skiing events were introduced into the World Ski Championships, and subsequently some skiers have tried to adapt their skiing cross-country technique to the higher racing speeds attained during sprint skiing. The racing speed during double-poling technique is high, and many athletes use double-poling technique when they want to accelerate or when they are close to the finish line (Stöggl, *et al.*, 2006). Thus, it is important that athletes keep the high level of the racing speed. However, no study could be found elucidating a relationship between the racing speed and the time course changes of kinematics and kinetics during double-poling technique.

The purpose of this study was to examine time course changes of the kinematics and the kinetics during double poling techniques in cross-country sprint skiing.

## Methods

- Subjects (n=5) were performed 3 min maximal double poling on oval track (Figure1).

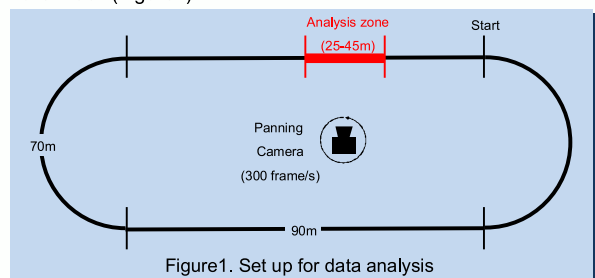


Figure1. Set up for data analysis

- The kinematic parameters were measured as the mean velocity, cycle length, cycle rate, duration over one cycle, which consists of poling (0% - 30% of one cycle) and gliding (30% - 100% of one cycle) phases. The segment angles were measured for the upper and forward arms, trunk, thigh, lower limb, foot, pole from the horizontal plane. Distance from the most proximal edge of the foot to the pole contact point, which defined here as pole contact length, was also calculated.
- The kinetic parameters, the peak and mean forces and impulse of poles were analyzed.

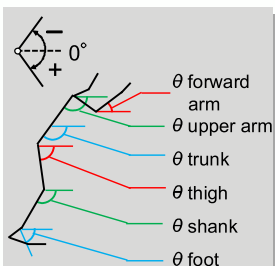


Figure2. segment angles

## Results

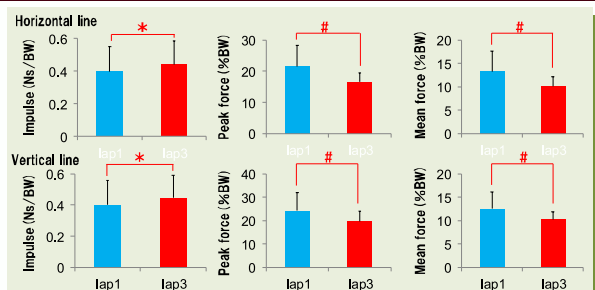


Figure3. The impulse, peak and mean forces during double poling.

## Results

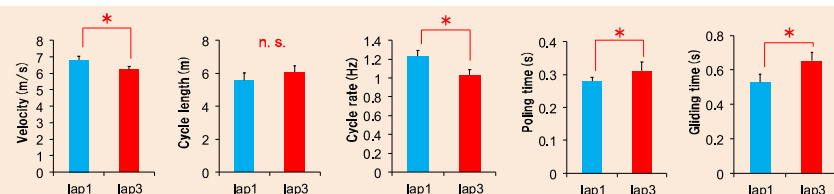


Figure4. Velocity, cycle length, cycle rate, poling and gliding time

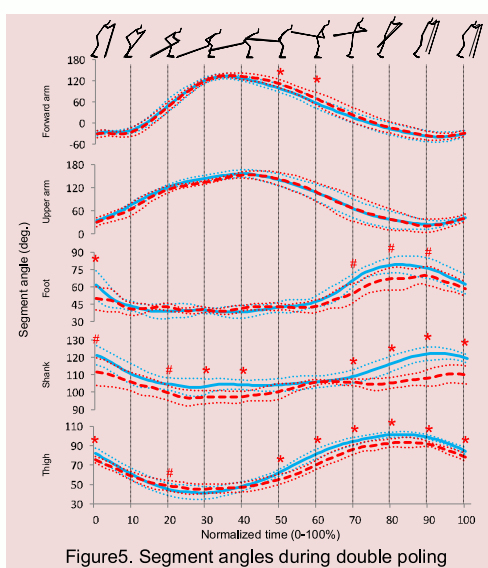


Figure5. Segment angles during double poling

- The velocity, cycle rate and peak and mean pole forces decreased significantly at 3rd lap compared with 1st lap of the round (Figure3, 4).
- In contrast, duration of the poling and gliding phases, impulse of pole significantly at 3rd lap compared with 1st lap ( $p < .05$ ) (Figure3).
- There was no significant difference in the cycle among laps ( $p < .05$ ) Figure 3).
- Thigh angle was greater and shank and foot angles were less at 3rd lap than at 1st lap in poling phase ( $p < .05$ ) (Figure5).
- In gliding phase, foot and thigh angles were greater and shank angle was less at 3rd lap than at 1st lap ( $p < .05$ ) (Figure 5).

## Discussion

- In poling phase, thigh angle was greater and shank and foot angles were less indicating standing position while one cycle.
- In, glide phase, foot and thigh angles were greater and shank angle was less indicating decreased flexing and extending action.

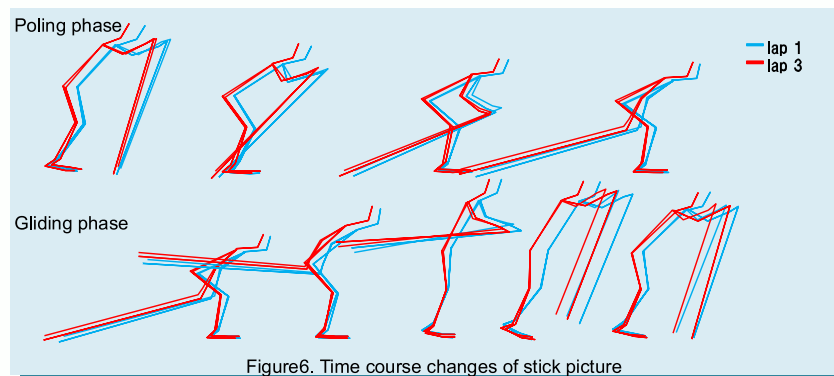


Figure6. Time course changes of stick picture

## Conclusion

Double poling technique during sprint skiing were changed to erect standing position the body and decreased flexing and extending action of legs with time course.



**The 4th International Sport Science Symposium on "Active Life".**

**Waseda University, Japan. 2011. Feb.**

### **Characteristics of classic style technique during starting phase in cross-country skiing**

**○Zenya Fujita<sup>1</sup>, Ryuta Kinugasa<sup>2,3</sup>, Kenji Tauchi<sup>2</sup>, Jun Tsuchiya<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Graduate School of Sport Sciences, Waseda University,**

**<sup>2</sup>Faculty of Sport Sciences, Waseda University, <sup>3</sup>RIKEN**

The purpose of this study was to clarify characteristics of double-poling (DP), diagonal stride (DIAG) techniques, and those combinations (COMB) during starting phase of cross-country-skiing. Five male cross-country skiers including the Japan national team performed sets of maximal effort of each three technique on flat and straight snow track. The motion was captured with the laser distance meter (Laveg-sports, Jenoptik) and high-speed camera (EX-F1, Casio). The time, mean and maximum velocities, number of cycle, cycle length and cycle rate were analyzed. Our result revealed the following: (1) required time of 50 m were not changed significantly among techniques. (2) maximum velocity was significantly higher in the DP than the DIAG. (3) although mean velocity was significantly higher in the DIAG during 10-20 m phase than the DP, the trend was changed during 30-50 m phase (DP > DIAG). (4) for the COMB trial, all subjects used the DIAG first, followed by the DP. Those results suggested that cross-country skier used the DIAG for acceleration, switched to the DP in order to achieving the maximum velocity, indicating interchange technique may play an important role for jump start from the early phase of competition.

# Characteristics of classic style technique during starting phase in cross-country skiing

Zenya Fujita<sup>1</sup>, Ryuta Kinugasa<sup>2,3</sup>, Kenji Tauchi<sup>2</sup>, Jun Tsuchiya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Sport Sciences, Waseda University, <sup>2</sup>Faculty of Sport Sciences, Waseda University, <sup>3</sup>RIKEN

## Abstract

The purpose of this study was to clarify characteristics of double-poling (DP), diagonal stride (DIAG) techniques, and those combinations (COMB) during starting phase of cross-country-skiing. Five male cross-country skiers including the Japan national team performed sets of maximal effort of each three technique on flat and straight snow track. The motion was captured with the laser distance meter (Laveg-sports, Jenoptik) and high-speed camera (EX-F1, Casio). The time, mean and maximum velocities, number of cycle, cycle length and cycle rate were analyzed. Our result revealed the following: (1) required time of 50 m were not changed significantly among techniques. (2) maximum velocity was significantly higher in the DP than the DIAG. (3) although mean velocity was significantly higher in the DIAG during 10-20 m phase than the DP, the trend was changed during 30-50 m phase (DP > DIAG). (4) for the COMB trial, all subjects used the DIAG first, followed by the DP. Those results suggested that cross-country skier used the DIAG for acceleration, switched to the DP in order to achieving the maximum velocity, indicating interchange technique may play an important role for jump start from the early phase of competition.

## Introduction

The classic style technique in cross-country skiing was used three different techniques (fig.1). The switching of the techniques of starting phase in cross-country skiing can determine success or failure. **The purpose of this study was to clarify characteristics of double-poling (DP), diagonal stride (DIAG) techniques, and those combinations (COMB) during starting phase of cross-country-skiing.**



Figure1. Three techniques of classic style in cross-country skiing.

(A) Double poling, (B) Kick double poling, (C) Diagonal stride

## Methods

Five male cross-country skiers including the Japan national team performed sets of maximal effort of each three technique(double-poling, diagonal stride techniques, and those combinations) on flat and straight snow track.

The motion was captured with the laser distance meter (Laveg-sports, Jenoptik) and high-speed camera (EX-F1, Casio). The time, mean and maximum velocities, number of cycle, cycle length and cycle rate were analyzed.

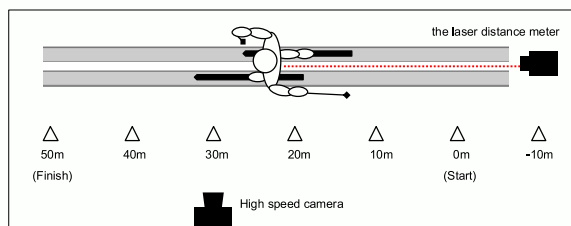


Figure 2. Set up for data analysis

## Results

Table1. Cycle characteristics of three techniques

	Double poling	Diagonal stride	z	p	Combination
Time of 50m (s)	9.39±0.59	9.15±0.39	0.67	0.500	9.00±0.65
Maximum velocity (m/s)	6.90±0.26	6.80±0.31	2.02*	0.043	7.05±0.40
Number of cycle (times)	12.33±1.03	20.17±1.60	2.04*	0.041	16.33±0.52

All value shows mean ± standard deviation. \*: p < 0.05

Time of 50 m was not significant difference between double poling and diagonal stride. Maximum velocity was significantly higher in the double poling than the diagonal stride. Number of cycle was significantly higher in the diagonal stride than the double poling (Table 1).

## Results

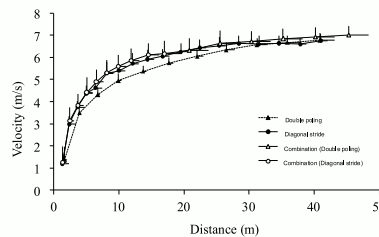


Figure3. Velocity of each cycles in three techniques

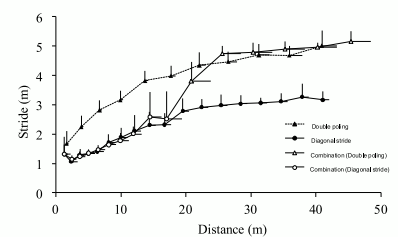


Figure 4. Cycle length of each cycles in three techniques

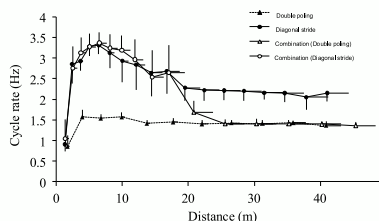


Figure 5. Cycle rate each cycles in three techniques

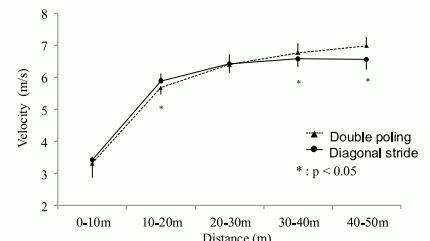


Figure 6. Comparison of mean velocities between double poling and diagonal stride

Diagonal stride technique was fast getting started compared to the double poling(Fig. 3). However, in 30 m, the velocity of double poling was reached the diagonal stride.

In the double poling technique, the cycle rate is low and the cycle length is relatively large compared to the diagonal stride(Fig. 4, 5).

Figure 6 was Comparison of mean velocities between double poling and diagonal stride. Although mean velocity was significantly higher in the diagonal stride during 10-20 m phase than the double poling, the trend was changed during 30-50 m phase (double poling> diagonal stride).

For the combination trial, all subjects used the diagonal stride first, followed by the double poling(Fig. 3, 4, 5).

## Discussion

### Characteristics of double poling and diagonal stride

Two techniques had some different characteristics(number of cycle, cycle length and cycle rate). The cycle length of double poling was increased with increase the distance. However, the cycle rate was not changed. Those results suggested that the double poling was accelerated for the increase the stride. Acceleration during double poling was needed long distance compared the diagonal stride. One other hand, in 30-50m, the velocity of double poling was higher than diagonal stride. Thus, double poling technique was achieving the high velocity after the long accelerating phase.

The cycle length and cycle rate of diagonal stride was rapid increased with increase the velocity in starting phase. In 10-20m, the velocity of diagonal stride was higher than double poling. Those results suggested that the diagonal stride technique was excelled in acceleration.

### The combination technique

In the trial of combination, all subjects used diagonal, switched double poling. Thus, cross-country skier choose the most reasonable technique for own intuitive.

## Conclusion

**Cross-country skier used the diagonal stride for acceleration, switched to the double poling in order to achieving the maximum velocity, indicating interchange technique may play an important role for jump start from the early phase of competition.**

**The 5th International Sport Science Symposium on "Active Life".  
Waseda University, Japan. 2011. Aug.**

**Contribution of upper- and lower-limb to propulsive force  
during V2 skate in cross-country skiing**

**○Zenya Fujita<sup>1)</sup>, Jun Tsuchiya<sup>2)</sup>**

**<sup>1)</sup> Graduate School of Sport Sciences, Waseda University**

**<sup>2)</sup> Faculty of Sport Sciences, Waseda University**

The purpose of this study determined the contribution of upper- and lower-limb to propulsive force during V2 skate technique in cross-country skiing. Six elite cross-country skiers performed 6.0 m/s speed over a 100-m flat snow section using the V2 skate technique. Pole and planter forces and cycle characteristics were analyzed. Three-dimensional videography determines the orientations of the poles and skis in order to resolve the resultant poling and skating forces into three components. The peak force of poling and skating were  $100 \pm 20$  N,  $202 \pm 48$  N, respectively. The averaged force of poling and skating were  $63 \pm 12$  N,  $106 \pm 18$  N, respectively. The ratios of contribution of lower-limb (push off of each side leg) to upper-limb (poling of both arms) were 101 % (in peak force) and 84 % (in averaged force). Those results suggested that upper- and lower-limb movements were contributed to achieve similar forces.

# Contribution of upper- and lower-limb to propulsive force during V2 skate in cross-country skiing

Zenya Fujita<sup>1</sup>, Jun Tsuchiya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Sport Sciences, Waseda University, <sup>2</sup>Faculty of Sport Sciences, Waseda University

## Abstract

The purpose of this study determined the contribution of upper- and lower-limb to propulsive force during V2 skate technique in cross-country skiing. Six elite cross-country skiers performed 6.0 m/s speed over a 100-m flat snow section using the V2 skate technique. Pole and planter forces and cycle characteristics were analyzed. Three-dimensional videography determines the orientations of the poles and skis in order to resolve the resultant poling and skating forces into three components. The peak force of poling and skating were  $100 \pm 20$  N,  $202 \pm 48$  N, respectively. The averaged force of poling and skating were  $63 \pm 12$  N,  $106 \pm 18$  N, respectively. The ratios of contribution of lower-limb (push off of each side leg) to upper-limb (poling of both arms) were 101 % (in peak force) and 84 % (in averaged force). Those results suggested that upper- and lower-limb movements were contributed to achieve similar forces.

## Introduction

The V2-skate technique (V2-skate) involves a double poling action in each skating stroke. In V2-skate, the cycle rate is low and the stride length is relatively large compared to the stride lengths in V1- and open field skate. Therefore, many athletes use V2-skate when they want to accelerate or when they are close to the finish line (Bilodeau et al., 1992; Millet et al., 1998a, 1998b).

Classic style (diagonal stride and double poling techniques) and free style (V2-skate, V1-skate and open field skate) has been examined by some researchers from the viewpoint of kinetics. Vähäsöyrinki et al. (2008) examined the pole and ski reaction forces during diagonal stride. They showed that the ratios of ski propulsive force was 9% in ski vertical force, 190% in poling force. Street et al. (1995) showed that the ratios of ski propulsive force was 21% in ski vertical force, 40% in poling force during V1-skate. Thus, in diagonal stride, lower limb(kick movement) was contributed to the propulsive force. Addition, in V1-skate, upper limb (poling movement) was contributed to the propulsive force. However, the contribution of upper body and lower body to propulsive force during V2-skate has not been examined.

Therefore, the purpose of this study is to reveal the contribution of upper body and lower body to propulsive force during V2-skate. The findings of this study will be useful for the clarification of the mechanisms of V2-skate.

## Methods

■ Subjects were six elite male cross-country skiers (age,  $20 \pm 1$  yrs; height,  $169.9 \pm 2.4$  cm; weight,  $68.1 \pm 2.4$  kg).

■ The poles used in this study were designed for competitive use (Yoko platinum power grip, Karhu Sporting Goods Oy, Finland), and the load was detected by attaching a strain gauge (N11-FA-5-1000-11, Showa Measuring Instruments Co., Ltd., Japan) to the bottom of each pole grip (Figure 1). Two poles of lengths 150 cm and 155 cm were fabricated to suit the height of each subject, and the subjects were asked to select their optimal length.

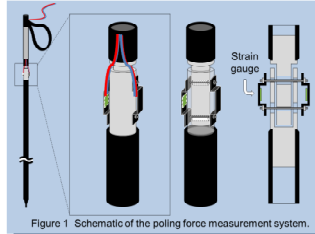


Figure 1. Schematic of the poling force measurement system.

■ Each pole sensor was calibrated using a load cell (LUR-A-1KNSA1, Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd., Japan) and a press machine (Yuatsu Power R-1, Riken Seiki Co. Ltd., Japan, Figure 2).

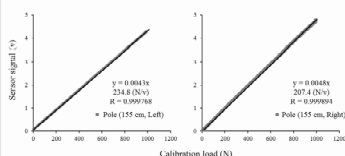


Figure 2. Typical examples of calibration results for the pole sensors are shown. The correlation coefficients derived from the calibration results exceeded 0.999. This result indicates that the linearity of the pole sensors were sufficient for the measurement of the pole forces.

■ To measure the ski reaction force acting on the ski, force transducers (9602, Kistler, Germany) were attached into the right and left roller-skis (Figure 3).

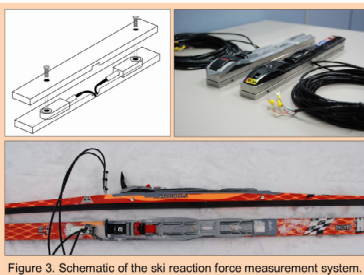


Figure 3. Schematic of the ski reaction force measurement system.

■ Video were taken at 60 field/s and a shutter speed of 1 ms, using two high-speed video cameras (EX-F1, Casio, Japan), one on the side and one at the front of a purpose-built course on the snow. For this study, a right-handed stationary coordinate system was established with the forward direction as the y-axis, the left-right direction with respect to the y-axis as the x-axis, and the vertical direction as the z-axis. Prior to the experiment, the surface of the snow was flattened using a snow vehicle.

■ The video taken using the two cameras was captured on a PC, and 23 points on the subject's body were digitized at a sampling rate of 60 Hz using movement analysis software (Frame-DIAS II V3, DKH, Japan).

■ The pole and ski force data of global axis (Fx, Fy, Fz) were transformed sensor's axis.

## Results

- The peak force of poling and skating were  $100 \pm 20$  N,  $202 \pm 48$  N, respectively.
- The averaged force of poling and skating were  $63 \pm 12$  N,  $106 \pm 18$  N, respectively.
- The ratios of contribution of lower-limb (push off of each side leg) to upper-limb (poling of both arms) were 101 % (in peak force) and 84 % (in averaged force).

■ Pole reaction force was changed from vertical force to propulsive force (Figure 4-B).

■ The ski reaction force was made mostly of the vertical force (Figure 4-C).

■ In push-off phase, it calculated medial-lateral force and propulsive force of global axis (Figure 4-D).

Table 1. Generated forces on global axes during V2 skating technique.

	medial-lateral	horizontal	vertical
Pole peak force (N)	$9 \pm 2$	$100 \pm 20$	$104 \pm 27$
Pole mean force (N)	$5 \pm 1$	$63 \pm 12$	$57 \pm 12$
Ski peak force (N)	$630 \pm 119$	$202 \pm 48$	$1175 \pm 106$
Ski mean force (N)	$322 \pm 37$	$106 \pm 18$	$737 \pm 50$

N = 6. All values showed mean  $\pm$  SD.

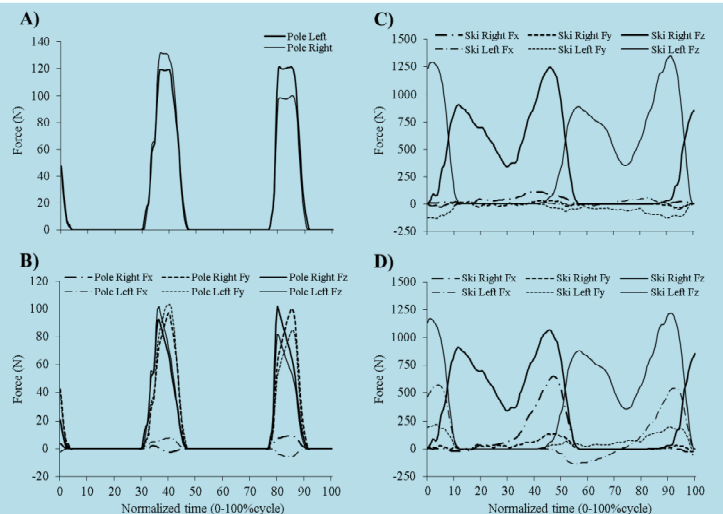


Figure 4. Generated forces: pole forces of pole long axis A), pole forces of global axes B), ski reaction forces of sensor axes C), ski reaction forces of global axes D).

## Discussion

- The ratios of contribution of lower-limb (push off of each side leg) to upper-limb (poling of both arms) were 101 % (in peak force) and 84 % (in averaged force). Those results suggested that upper- and lower-limb movements were contributed to achieve similar forces.
- Ski propulsive force of global axis during V2-skate was made mostly the vertical force of ski sensor axis. It was suggested that to achieve the ski propulsive force was of importance tilting the ski to inside.
- Poling propulsive force during V2- skate was similar pattern of the double poling technique (Nilsson et al. 2003)

## Conclusion

Upper- and lower-limb movements during V2-skate were contributed the similar generated forces to the skiing velocity.